Agriculture Canada

Direction generale de la recherche

Research Branch

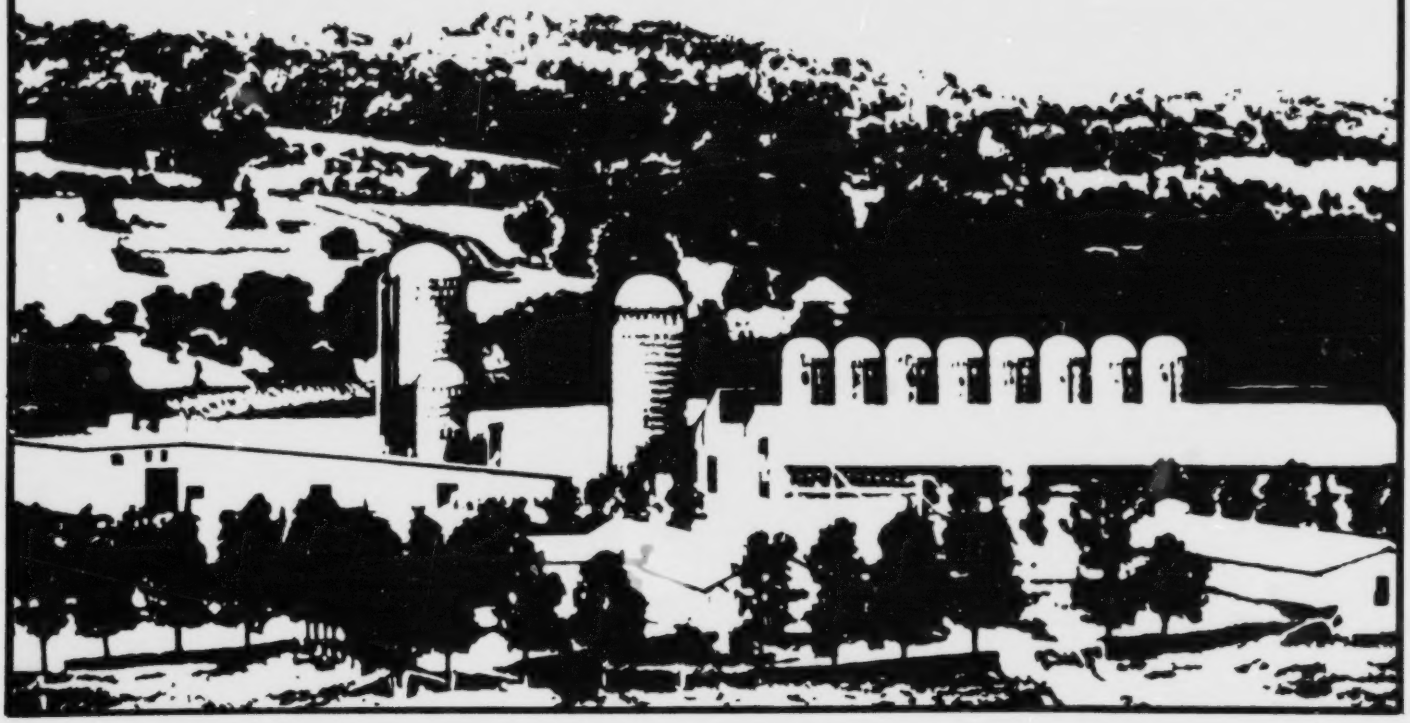
BULLETIN TECHNIQUE
TECHNICAL BULLETIN 3

L'agriculture face à la pollution des eaux du bassin de la St-François par les éléments azote, phosphore et potassium

STATION DE RECHERCHE

LENNOXVILLE

RESEARCH STATION



L' AGRICULTURE FACE À LA POLLUTION DES EAUX DU BASSIN DE LA ST-FRANÇOIS PAR LES ÉLÉMENTS AZOTE, PHOSPHORE ET POTASSIUM

France Carrier
Jean-Louis Dionne
Station de recherches
Lennoxville (Québec)

Direction générale de la recherche
Agriculture Canada
1981

On peut obtenir des exemplaires de
cette publication à la

Station de recherches
Direction générale de la recherche
Agriculture Canada
C.P. 90
Lennoxville (Québec)
J1M 1Z3

© Ministre des Approvisionnements
et Services Canada, 1981

RESUME

Dans le cadre d'un projet visant l'implication de l'agriculture dans la pollution des eaux du bassin St-François et présenté par M. Jean-Louis Dionne, chercheur à la Station de Recherches de Lennoxville, une équipe de six personnes engagées par le Ministère de l'Agriculture du Canada par le biais de la Compagnie des Jeunes Travailleurs a entrepris une étude des éléments nutritifs tels l'azote, le phosphore et le potassium.

Le but de cette étude est d'évaluer la qualité de l'eau des différents cours d'eau et d'apporter quelques précisions sur l'implication de l'agriculture à l'apport de ces éléments au bassin St-François. De mai à novembre 1979, 69 sites ont été visités six fois chacun. En plus des échantillons d'eau, on a recueilli des échantillons de sol et de plantes chez quelques cultivateurs de la région agricole no: 5 afin de pouvoir établir un bilan. On a aussi échantillonné le fond des rivières de manière à suivre le cycle de ces éléments.

Les analyses chimiques effectuées (N total, $N\text{-}NO_3$, P total et K) sur chacun des échantillons d'eau ont permis d'établir la condition des eaux du bassin St-François en fonction de la variabilité spatiale (évolution des concentrations de la source à l'embouchure) et de la variation temporelle (mensuelle). Le ministère des Richesses Naturelles nous a fourni les débits journaliers et mensuels pour quelques points étudiés. On peut obtenir ainsi la charge en azote, phosphore et potassium.

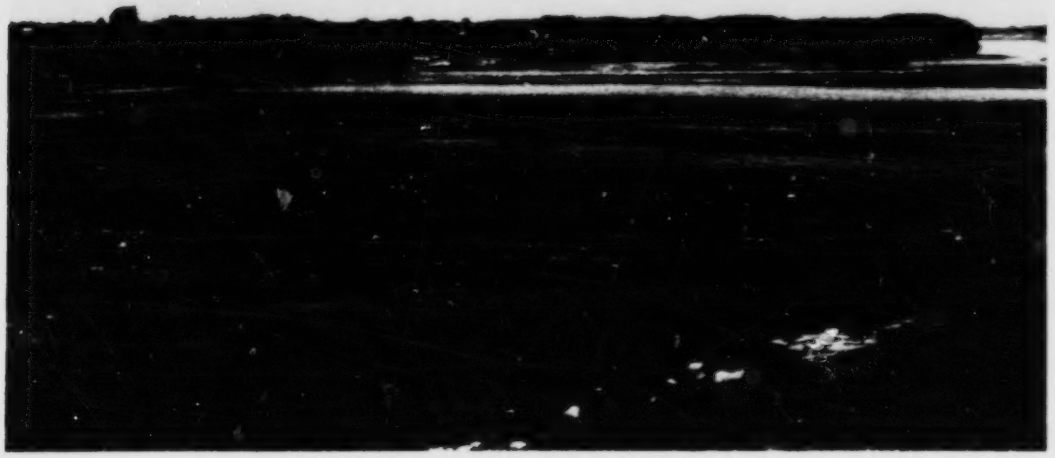
Les mêmes analyses ont été faites sur les échantillons de sol et de plantes recueillis chez les producteurs. Avec la collaboration des bureaux régionaux de Rock Forest et de Nicolet du Ministère de l'Agriculture du Québec, on a établit la condition des sols pour le bassin St-François

en ce qui concerne le pH, le phosphore et le potassium. De plus, le bureau régional de Rock Forest nous a fourni des données sur les cultures de la région 5, leur étendue et les rendements obtenus en 1977. Pour les comtés de Drummond et de Yamaska, ces informations étaient répertoriées dans une annexe de statistiques du Ministère de l'Agriculture du Québec. En connaissant les quantités d'engrais chimiques vendus, on peut dresser un bilan des éléments nutritifs concernés à l'échelle du bassin.

Avec les données des cultivateurs, on peut faire un bilan au niveau d'une ferme. Selon le degré de fertilisation, on peut mettre en évidence les risques de pollution des cours d'eau avoisinants. Les analyses d'eau de quelques ruisseaux agricoles viennent appuyer les hypothèses.

Les analyses d'eau d'égoûts urbains viendront déterminer le pouvoir polluant des villes par rapport à celui des terres agricoles.

Voici en résumé le travail effectué dans ce rapport. Les résultats essaieront de mettre en lumière la pollution des cours d'eau par les engrais chimiques et organiques.



Rivière Saint-François près de l'embouchure

TABLE DES MATIERES

Introduction 1

Bibliographie
- 1- L'eutrophisation 3
- 2- Apports et pertes d'éléments nutritifs 4
- 3- Dénitrification 5
- 4- Erosion 6
- 5- Drainage 6
  - a) Pertes d'azote 8
  - b) Pertes de phosphore 11
  - c) Pertes de potassium 13
- 6- Les fumiers 15
- 7- Normes des teneurs en azote et phosphore contenues dans les eaux 19
- 8- Rivière St-François et ses principaux affluents 22
- 9- Bassin versant de la rivière St-François et ses caractéristiques 24

Matériel et méthode
- 1- Choix des sites d'échantillonnage 31
- 2- Prise d'échantillons et méthodes d'analyse 31
  - a) eau 31
  - b) sol 32
  - c) plantes 32

Résultats
- 1- Azote 35
- 2- Phosphore 42
- 3- Potassium 42
- 4- Charges instantanées et mensuelles 49
- 5- Le pH de l'eau 56
- 6- Teneurs en éléments nutritifs dans les eaux de provenances diverses. 56
- 7- Teneurs en phosphore assimilable et en potassium échangeable et pH des lits des rivières 58
- 8- Teneurs en phosphore assimilable et en potassium échangeable et pH des sols agricoles du bassin St-François 60
- 9- Prélèvements par les cultures et application d'éléments nutritifs dans le bassin St-François 65
- 10- Bilan du P_2O_5 et du K_2O pour des cas particuliers. 71

Discussion et conclusion 77

Appendices 88

Références 134

LISTE DES TABLEAUX

1- Quantités annuelles d'azote drainées de trois catégories de surfaces agricoles et des surfaces urbaines de densité variable de populations. 9

2- Bilan d'azote pour un champ de maïs ayant reçu 90 kg N/ha. 10

3- Evaluation des contributions en phosphore provenant de sources variées. 14

4- Quantités produites et caractéristiques du fumier animal. 17

5- Moyenne et écart des concentrations en $N\text{-}NO_3$, en orthophosphate et en potassium des eaux des puits analysés (ppm). 18

6- Concentrations critiques en substances nutritives dans les eaux naturelles. 21

7- Utilisations du bassin St-François. 26

8- Caractéristiques des 5 lacs les plus importants du bassin St-François. 28

9- Quantités moyennes d'azote, de phosphore et de potassium retrouvées dans la rivière St-François par tranche de 25 kilomètres. 37

10- Teneur de l'eau en azote - Régions X Dates d'échantillonnage. 39

11- Variations statistiques des teneurs en N, P et K en fonction des sites, des dates d'échantillonnage, des rivières et des régions. 40

12- Teneur de l'eau en azote - Rivières X Dates d'échantillonnage. 41

13- Teneur de l'eau en phosphore - Régions X Dates d'échantillonnage. 44

14- Teneur de l'eau en phosphore - Rivières X Dates d'échantillonnage. 45

15- Teneur de l'eau en potassium - Régions X Dates d'échantillonnage. 47

16- Teneur de l'eau en potassium - Rivières X Dates d'échantillonnage. 48

Teneurs instantanées, mensuelles et saisonnières en azote, phosphore et potassium pour la St-François.

17- Décharge du Lac St-François. 50

18- Rivière St-François à 1.3 km en aval du réservoir Aylmer. 51

19- Rivière St-François au pont-route 112 à Ascot Corner. 52

20- Rivière St-François à 0.3 km en amont du pont-route 143 à Bromptonville. 53

21- Rivière St-François à Drummondville (Hamming's Fall). 54

22- Charges saisonnières en N, P et K en cinq points de la rivière St-François. 55

23- Comparaison des concentrations en azote total, en phosphore total et en potassium dans les eaux provenant de différentes sources. 57

24- Teneur en N, P et K et pH des échantillons de sol provenant du fond des rivières. 59

25- Teneur en phosphore assimilable, en potassium échangeable et pH des sols agricoles du bassin St-François. 64

26- Prélèvements effectués par une tonne métrique de culture. 67

27- Prélèvements en N, P_2O_5 et K_2O effectués par chacune des cultures dans le bassin St-François. 68

28- Prélèvements d'éléments nutritifs effectués pour toutes les cultures dans les 8 régions du bassin St-François. 69

29- Comparaison des quantités d'éléments nutritifs prélevées par les cultures et les quantités d'éléments nutritifs appliquées sous forme d'engrais chimiques dans le bassin St-François et des quantités transportées par la St-François. 70

30- Valeur fertilisante en N, P_2O_5 et K_2O du fumier à l'état frais de bovins et de porcs. 74

31- Bilan du P_2O_5 pour des cas particuliers. 75

32- Bilan du K_2O pour des cas particuliers. 76

33- Composition d'un effluent urbain. 84

34- Bilan de la pollution agricole. 86

LISTE DES FIGURES

1- Localisation du bassin de la rivière St-François. 25

2- Réseau hydrographique du bassin St-François. 29

3- Localisation des sites d'échantillonnage. 32

4- Concentrations en azote dans la rivière St-François. 36

5- Identification des 8 régions. 38

6- Concentrations en phosphore dans la rivière St-François. 43

7- Concentrations en potassium dans la rivière St-François. 46

8- Concentration en phosphore assimilable (P) dans les sols. 61

9- Concentration en potassium échangeable (K) dans les sols. 62

10- pH des sols. 63

11- Localisation des producteurs agricoles ayant contribué à l'étude. 73

12- Carte de compilation des formations sablo-graveleuses de surface. 80

13- Localisation des zones d'érosion. 81

14- Activités dominantes par sous-région hydrographique. 82

INTRODUCTION

Un sujet brûlant d'actualité fait l'objet de nombreux débats plus ou moins orageux: la pollution de nos cours d'eau. Les responsables se lancent la balle sans essayer vraiment de remédier à la situation.

L'agriculture constitue l'un des protagonistes de cette détérioration vu les progrès rapides survenus au cours des dernières décades et permettant une productivité accrue. Dans la Presse du 14 octobre 1978, on peut lire: "... l'utilisation massive des pesticides et des engrais chimiques constitue déjà un fléau et on peut craindre à plus ou moins court terme, de graves déséquilibres dans l'environnement naturel". Cette affirmation a été produite lors du Congrès de l'Association des médecins de langue française.

Dans notre étude, nous nous arrêterons à la pollution de la rivière St-François suite aux apports d'azote, de phosphore et de potassium. Nous tracerons un portrait de l'évolution, dans le temps et l'espace, des teneurs en N, P et K de la St-François et sept de ses tributaires. Puis, nous calculerons les quantités de ces éléments exportées par les plantes agricoles ou retrouvées dans les sols cultivés. Nous considérerons les apports possibles par les fumiers.

Tout cela dans un effort de mettre en lumière les activités agricoles contribuant à un enrichissement en nutriments des cours d'eau du bassin St-François ainsi que leur niveau de responsabilité.

LA POLLUTION

L'agriculture est-elle vraiment responsable de la formation de cette couche blanchâtre? (Photo prise en aval d'un moulin à papier).

Ce poisson aurait pu identifier le responsable mais ...

1- L'eutrophisation

Phénomène menaçant la qualité de l'environnement aquatique, l'eutrophisation résulte d'une "augmentation des substances nutritives dans les eaux des lacs" ou plutôt "un enchaînement de transformations qui accompagnent l'enrichissement ininterrompu des eaux en substances nutritives ou fertilisantes". Ces substances nutritives incluent l'azote, le phosphore, le potassium, le carbone, le fer, etc. L'azote et le phosphore contribuent en grande partie à la croissance désordonnée des algues, ce qui appauvrit les réserves d'oxygène dans l'eau. Contrairement à l'azote, le phosphore est plus facilement contrôlable car ces apports proviennent en majeure partie de l'action humaine, comme les détergents contenus dans les eaux usées domestiques.

Pour ce qui est de l'azote, sa présence contribue dans une large part à la croissance du plancton mais sa provenance (eaux de pluie, neige, poussière) rend difficile son contrôle. On calcule qu'environ 15 millions de kilos d'azote tombent ainsi dans le lac Erié et 11 millions de kilos dans le lac Ontario (C.M.T.C.E.U. 1970). On ne peut empêcher ces retombées naturelles mais en exerçant un contrôle sur les déversements industriels et urbains, on peut réduire l'effet eutrophisant de ces éléments nutritifs.

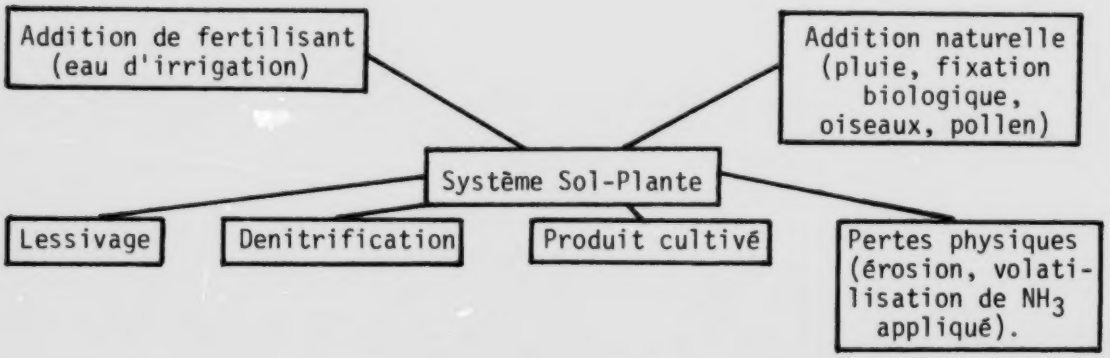
Heureusement, le potassium contribue à retarder l'eutrophisation en favorisant la pousse des plantes, enrayant ainsi l'érosion du sol.

Problème mondialement reconnu, l'eutrophisation par l'azote et le phosphore surtout s'accélère avec l'accroissement démographique, l'industrialisation, l'emploi des détersifs et des engrais. L'homme, le principal responsable, se doit d'en trouver les solutions.

2- Apport et pertes d'éléments nutritifs

L'objectif de ce travail vise à établir la contribution des pratiques agricoles à la détérioration des cours d'eau du bassin St-Françcis dans la mesure où l'on peut évaluer précisément les quantités d'éléments nutritifs apportées par ces pratiques. Sans vouloir accuser ou défendre une agriculture plus productive résultant de l'emploi d'engrais naturels ou chimiques, il faut admettre qu'il est assez difficile d'obtenir des relations précises entre le monde agricole et les problèmes de l'environnement.

Comme le montre le diagramme suivant (Fried et al, 1976) les apports et les pertes d'azote proviennent de plusieurs sources:



Il est de même pour le phosphore. Owens (1970) considère deux catégories d'apport:

- les sources diffuses comme la pluie, le lessivage, le drainage, la tombée des feuilles.
- les sources ponctuelles comme les tas de fumier et effluents de déchets.

La première catégorie d'apport nous apparaît difficilement quantifiable du fait que les phénomènes responsables dépendent surtout de la nature. Par contre, les sources ponctuelles découlent des activités domestiques, agricoles et industrielles.

Au point de vue agricole, l'apport des éléments nutritifs nécessaire à la croissance des plantes se fait au moyen des engrais organiques et inorganiques. Ces derniers, une fois appliqués, prennent l'une des cinq voies suivantes (Pretty et al, 1973):

- Absorption par les cultures (50 à 60% ou plus).
- Combinaison avec la matière organique du sol (20 à 40%).
- Lessivage des sols par les eaux de drainage (0 à 10%).
- Entraînement par l'érosion du sol provoquée par le vent et l'eau (1 à 15%).
- Transformation en gaz ou dénitrification (10 à 30%).

Les trois derniers phénomènes entraînent des pertes d'éléments nutritifs pour les récoltes et certains provoquent un enrichissement néfaste des cours d'eau.

3- Denitrification

Concernant la dénitrification, l'azote sous forme nitrique se transforme en azote gazeux et est relâché dans l'atmosphère. Elle survient en majeure partie durant la première moitié de la saison de croissance. Des conditions telles les basses températures, un pH trop acide, un sol riche en oxygène, une humidité réduite, un manque d'azote nitrifié, de carbone utilisable ou de population dénitrifiante inhibent la transformation de l'azote. Etant donné nos objectifs, ce facteur ne nous préoccupe pas dans l'étude présente.

4- Erosion

Quant à l'érosion, elle produit une augmentation des charges de sédiments et de substances dissoutes dans les cours d'eau (Robinson et al, 1978). L'azote et le phosphore s'attachent aux particules et atteignent les rivières. Vu l'absorption partielle par la végétation aquatique, les concentrations de substances nutritives peuvent décroître de façon marquée sur une courte distance. Le phosphore peut se transformer en une forme moins utilisable en s'attachant aux sédiments du fond des rivières et des lacs.

L'intensité des précipitations, la nature du sol, la quantité et la période d'application des fertilisants sont autant de facteurs responsables d'une érosion plus ou moins marquée et qu'il est possible d'enrayer en partie quand on connaît les conséquences de certaines pratiques utilisées en agriculture (production de cultures en rangée comme le maïs sur un sol prédisposé à l'érosion, épandage de fumier sur un sol gelé).

On ne peut éliminer complètement l'érosion mais on se doit de minimiser ses effets en appliquant une régie intelligente des sols.

5- Drainage

Considérées comme source diffuse, les eaux de drainage regroupant les ruisseaux, les eaux souterraines et de ruissellement entrainent aussi une certaine quantité d'éléments nutritifs.

Les facteurs mis en cause se détaillent comme suit (Jung, 1972):

- précipitations.
- taux de percolation de l'eau.

L'EROSION

Si on favorise une pousse printanière hâtive en utilisant les engrais chimiques et organiques, on érige une barrière naturelle à l'érosion.

- couvert végétatif.
- type de sol et son taux de minéralisation.
- réserve en azote du sol.
- période d'application des fumures.

a) Pertes d'azote

Prenons l'azote en particulier étant donné que son comportement diffère de celui du phosphore. Le sol contient un pool azoté variant entre 1500 et 6000 kg N/ha dans les 150 premiers millimètres. Une étude (Owens, 1970) évaluant les quantités d'azote provenant du drainage de trois catégories de terrains nous permet de constater que plus la concentration urbaine augmente, plus ses effluents de déchets deviennent responsables de la charge en azote (Voir tableau 1)
Supposons un hectare de terrain dont 62.5% est arable

32.5% est un pâturage permanent

5.0% est un pâturage grossier

Les quantités d'azote dérivant du drainage de ces trois catégories de terrain sont respectivement de 13 kg/ha/an, 8 kg/ha/an et 4 kg/ha/an. Les contributions directes des surfaces urbaines se rapprochent de celles du pâturage grossier.

De plus, si l'addition de fertilisants tient compte des besoins de la plante, il n'y aura pas d'accumulation excessive d'éléments nutritifs dans les sols et ainsi les risques de lessivage s'atténueront. Fried et al (1976) ont dressé un bilan d'azote pour un champ de maïs ayant reçu 90 kg N/ha. (tableau 2) Les pertes par lessivage correspondent à 5.7 kg/ha. Les pluies durant l'année d'étude cumulent 62.1 cm-ha/ha, ce qui signifie que l'on a perdu en moyenne

Tableau 1 Quantités annuelles d'azote drainées de trois catégories de surfaces agricoles et des surfaces urbaines de densité variable de populations - azote en kilo/ha

a) Sans population.			
Terre arable	0.625 X 13	=	8.15 kg.
Pâturage permanent	0.325 X 8	=	2.60 kg.
Pâturage grossier	0.05 X 4	=	0.20 kg.
Surface urbaine	0.00		0.00 kg.
Total provenant de la terre			10.95 kg.
Total des déchets			0.00 kg.
b) Avec 1.5 personnes/ha (4% du bassin urbain) contribuant à 9 gr. N/pers./jr.			
Terre arable	0.60 X 13	=	7.80 kg.
Pâturage permanent	0.30 X 8	=	2.40 kg.
Pâturage grossier	0.05 X 4	=	0.20 kg.
Surface urbaine	0.05 X 4	=	0.20 kg.
Total provenant de la terre			10.60 kg.
Effluent de déchets 1.5 X 9 X 0.365 =			4.90 kg.
Total provenant du bassin de réception			15.50 kg.
Proportion des déchets			31%
c) Avec 3 personnes/ha.			
Terre arable	0.58 X 13	=	7.56 kg.
Pâturage permanent	0.28 X 8	=	2.24 kg.
Pâturage grossier	0.05 X 4	=	0.20 kg.
Surface urbaine	0.09 X 4	=	0.36 kg.
Total provenant de la terre			10.36 kg.
Effluent de déchets 3.0 X 9 X 0.365 =			9.70 kg.
Total provenant du bassin de réception			20.06 kg.
Proportion des déchets			49%
d) Avec 6 personnes/ha.			
Terre arable	0.54 X 13	=	7.00 kg.
Pâturage permanent	0.24 X 8	=	1.90 kg.
Pâturage permanent	0.05 X 4	=	0.20 kg.
Surface urbaine	0.16 X 4	=	0.64 kg.
Total provenant de la terre			9.74 kg.
Effluent de déchets 6.0 X 9 X 0.365 =			19.80 kg.
Total provenant du bassin de réception			29.54 kg.
Proportion des déchets			67%
e) Avec 12 personnes/ha.			
Total provenant de la terre		=	8.76 kg.
Effluent de déchets		=	39.60 kg.
Total provenant du bassin de réception		=	48.36 kg.
Proportion des déchets			82%
f) Avec 35 personnes/ha.			
Total provenant de la terre		=	4.00 kg.
Effluent de déchets		=	115.00 kg.
Total provenant du bassin de réception		=	119.00 kg.
Proportion des déchets			97%

Ces calculs indiquent que la charge en azote parvenant aux rivières s'accroît à mesure qu'une étendue de terre s'urbanise.

Réf: Owens, M. Nutrients Balances in Rivers. Water Treatment Examination. Vol. 19. 1970. P. 245.

Tableau 2. Bilan d'azote pour un champ de maïs ayant reçu 90 kg N/ha

Apports annuels (kg/ha)		Sorties annuelles (kg/ha)	
Additions naturelles	7.7	Pertes physiques	0.0
Addition de fertilisants	89.6	Produits cultivés	119.1
Azote dans l'eau d'irrigation	41.4	Dénitrification	13.9
TOTAL:	138.7		133.0
"Différence: 5.7 kg/ha"			

0.9 mg/l. Des travaux (Jung, 1972 et Olness et al, 1975) ont établi à 5% l'azote lessivé provenant des engrais minéraux. En effet, selon Jung (1972), l'apport d'azote par les engrais chimiques n'a généralement que peu d'influence sur son lessivage car la fumure minérale est mieux adaptée dans le temps aux besoins des plantes que la libération par minéralisation à partir des réserves du sol.

Etant donné sa plus grande mobilité comparé au phosphore, l'efficacité de l'azote en terme d'augmentation de rendements des récoltes obtenue par unité d'azote est amoindrie pour les raisons suivantes (Loehr, 1974):

- l'azote est capté en partie par les plantes non cultivées.
- il y a dénitrification dans le sol.
- une partie de l'azote reste disponible dans le sol.
- il y a perte d'azote par volatilisation d'ammoniaque.
- il y a lessivage des couches profondes.

Tous ces facteurs rendent encore plus difficile le calcul des quantités d'azote drainées dans nos cours d'eau.

b) Pertes de phosphore

Le phosphore, reconnu comme principal responsable de l'eutrophisation, précipite rapidement et est retenu dans le sol. C'est ce qui explique les pertes relativement faibles comparativement à celles d'azote. On semble d'accord pour dire que 10 à 30% des engrais phosphatés profitent aux récoltes. Le reste est converti sous une forme insoluble et peut devenir une source de phosphore utilisable pour les récoltes subséquentes.

LE DRAINAGE

Le drainage des terres agricoles améliore les rendements mais constitue une source d'apport non négligeable en éléments nutritifs dans nos cours d'eau si les quantités d'engrais appliqués dépassent de beaucoup les besoins des cultures.

On a observé que les surfaces boisées ne recevant aucun engrais perdent une certaine quantité de phosphore total variant de 0.02 à 0.68 kg P/ha/an. (Singer et al, 1975). Le tableau 3 donne une évaluation des contributions en phosphore aux Etats-Unis. Le lessivage des terres forestières vient en première place parmi les différentes sources énumérées. Ce phénomène naturel se contrôle difficilement mais on peut multiplier nos efforts au niveau des autres responsables de l'enrichissement en phosphore de nos cours d'eau.

En fait, la littérature ne s'accorde pas sur le niveau de responsabilité de l'agriculture quant à la détérioration du milieu aquatique mais nous pouvons dire que plusieurs autres sources naturelles ou non sont impliquées et requièrent une sérieuse attention de façon à cerner le problème.

c) Pertes de potassium

Le potassium est le dernier élément qui nous préoccupe. Selon Cooke (1974), on le retrouve parfois en aussi grande quantité dans l'eau de pluie que dans l'eau drainée du sol, ce qui fait qu'on ne le considère pas comme agent polluant des eaux. A l'exception des sols sablonneux, l'influence de la fertilisation en potassium ne joue pratiquement aucun rôle sur la composition des eaux de surface et souterraines. Les quantités de potassium retrouvées dans les eaux dépendent plutôt des propriétés chimiques et minéralogiques du sol adjacent. Le pH du sol, par exemple, influence considérablement la mobilité du potassium car, pour une situation donnée, sa concentration augmente avec une baisse du pH. Dans les sols très acides, le potassium est peu retenu.

Lorsque l'on applique des fertilisants potassiques, on remarque un enrichissement des couches supérieures, ce qui peut entraîner des pertes par érosion.

Tableau 3. Evaluation des contributions en phosphore provenant de sources variées

Source	Quantité de phosphore (million de kg/année) aux Etats-Unis	
	Ecart	Moyenne
NATURELLE		
Pluie	1 - 8	4
Plantes aquatiques	0 - 48	24
Oiseaux, poissons, faune	Inconnu	
Lessivage		
Terres forestières	110 - 267	188
Autres terres	Inconnu	
PROVOQUEE PAR L'HOMME		
Domestique		
Aliments	62 - 75	68
Lavage des déchets	113 - 127	120
Industrielle		
Procédé alimentaire	Inconnu	
Autres	Inconnu	
LESSIVAGE		
Surface urbaine	8 - 8	8
Terre cultivée	50 - 173	111
Pâturage avec animaux	77	77

Réf.: Zajic, J.E. Water Pollution. Disposal and Reuse. Vol. I. New York, 1971. P. 317.

Mais la majeure partie du potassium sera liée avec les particules de sol ou prendra une forme échangeable. Dans les sols sablonneux hautement fertilisés, les pertes en K dues à l'érosion et au drainage peuvent prendre de l'ampleur mais il y a peu d'études qui incriminent le potassium au niveau de la pollution des cours d'eau. On peut dire que sa présence dans les eaux est beaucoup moins critique que celle de l'azote ou du phosphore jusqu'à preuve du contraire.

6- Les fumiers

En dernier lieu, il faut parler des engrais organiques: les fumiers. Plusieurs scientifiques les considèrent comme l'une des principales sources de pollution des cours d'eau si on se réfère au cas de la Yamaska. Il faut solutionner le problème de l'entreposage des fumiers de façon à ne pas menacer l'environnement.

Les élevages intensifs (porcs, bovins, poules, dindons) produisent une grande quantité d'excréments et ce sur un espace restreint (tableau 4). Il faut trouver des terres capables d'absorber ces quantités de fumier. La quantité épandue et le temps d'application influencent le risque de pollution. Pour les fumiers liquides, on recommande leur application à une période où le sol montre un déficit en humidité et à des taux inférieurs au taux d'infiltration. Une expérience utilisant différentes quantités de fumier de porcs sur un terrain de pente douce et dont on recueille les eaux de drainage a prouvé qu'un petit pourcentage de fumier coule à travers la surface du sol mais que celui-ci est dilué ou purifié à une efficacité de 98% (O'Callaghan, 1976).

En ce qui concerne les aires d'entreposage, il faut veiller à leur imperméabilité. A la Ferme Expérimentale d'Ottawa, une étude de 4 ans n'a

LES FUMIERS

Voici des situations à éviter si l'on veut sauvegarder un environnement sain et agréable.

Tableau 4. Quantités produites et caractéristiques du fumier animal(1)

	Fumier total	DBO*	Solides solubles	Azote	P_2O_5	Sodium
	Kg/jour/animal					
Taureaux Vaches (lait) Vaches (viande)	40.86	0.66	0.89	0.15	0.06	0.014
Bouvillons (viande) Génisses (lait) Génisses (viande)	22.7	0.75	0.93	0.07	0.045	0.005
Veaux	11.35	0.16	0.24	0.04	0.01	0.005
Porcs	4.54	0.17	0.15	0.03	0.02	0.003
Truies	6.36	0.19	0.08	0.028	0.019	0.004
Brebis	5.45	0.15	0.10	0.02	0.014	0.001
Agneaux	3.63	0.10	0.05	0.01	0.01	0.0005
Cheveaux et poneys	24.97	0.64	0.86	0.12	0.04	0.005
Poules (pondeuses) Poulets (couvées) Dindes (Lourdes)	0.14	0.011	0.006	0.002	0.0013	0.00011
Poulettes Dindes (à rôtir)	0.07	0.006	0.005	0.0007	0.0004	0.00008
Poulets (à rôtir)	0.04	0.004	0.004	0.0015	0.0001	0.00005
Dindes (couvoir)	0.14	0.01	0.01	0.0021	0.0002	0.0002

* DBO: Demande biologique en oxygène.

(1) Fumier total comprend les excréments animaux, liquides et solides, ainsi que les autres substances provenant des étables (paille des litières, fourrage, etc....)

Réf.: Groupe Défi St-François. Pollution du Bassin Hydrographique de la St-François. Sherbrooke, P.Q. Mai 1978.

Tableau 5. Moyenne et écart des concentrations en $N\text{-}NO_3$, en orthophosphate et en potassium des eaux de puits (ppm)

Puits	Année	Echantillons pris à 30-50 cm en dessous de la surface de l'eau ($N\text{-}NO_3$)	Echantillons pris à 30-50 cm au-dessus du fond du puits ($N\text{-}NO_3$)
A	1969-70	2.7 (0.2 - 9.3)	-----
	1971	13.0 (2.0 - 32.4)	1.8 (0.1 - 6.4)
	1972	11.0 (1.3 - 16.5)	6.6 (0.5 - 9.5)
F	1969-70	1.0 (0.1 - 5.6)	-----
	1971	0.3 (<0.1 - 1.0)	0.1 (<0.1 - 0.8)
	1972	1.1 (<0.1 - 6.6)	0.2 (<0.1 - 0.7)

	Ortho-Phosphates	Potassium (K)
A	0.042 (0.006 - 0.096)	8 (3 - 13)
F	0.045 (0.006 - 0.091)	7 (3 - 27)

révélé aucune contamination de la nappe phréatique par excédent de nutriments provenant des aires d'entreposage de fumier solide depuis 30 ans. La nappe phréatique se trouvait à moins de 275 cm de profondeur et ce pour les deux aires. L'une reposait sur une surface de béton et l'autre sur une couche de gravier. L'eau de deux puits situés à moins de 250 mètres des aires d'entreposage n'a révélé aucune contamination par les nitrates, l'ammoniaque ou les phosphates. Le tableau 5 résume les résultats obtenus pour les puits (Sowden et al, 1976).

Si la surface d'écoulement est restreinte et si le sol n'est pas trop perméable, le processus naturel de dénitrification dans le sol exerce un certain contrôle sur la contamination des eaux avoisinantes.

Une connaissance des risques de pollution entraînés par des solutions d'élimination douteuses des fumiers permettra une meilleure régie de façon à en tirer les avantages en respectant le milieu.

7- Normes des teneurs en azote et phosphore contenues dans les eaux

Sur ce point, il est très difficile de faire l'unanimité. Dans chacun des pays, on établit des limites selon l'usage de l'eau. On sera plus sévère pour l'eau potable que pour l'eau de baignade, ceci étant très compréhensible.

L'Organisation Mondiale de la Santé recommande pour l'eau potable en Europe (1961):

Nitrates NO_3	N-Nitrates (ppm) $N\text{-}NO_3$	Standard de l'eau
0 - 50	0 - 11.3	recommandé
50 - 100	11.3 - 22.6	acceptable
100	22.6	non recommandé

Si on se préoccupe de l'eutrophisation, on observe encore des divergences plus ou moins importantes. Nous citerons celles que l'on retrouve le plus souvent. La Régie des Eaux du Québec impose les normes suivantes afin de prévenir une croissance d'algues trop prononcés:

Rivières: 0.3 ppm (phosphates)

Lacs : 0.15 ppm (phosphates)

: 0.3 ppm (nitrates)

: 0.03 ppm (Ortho phosphates)

Si le rapport nitrates/phosphate égale 10, la vitesse d'assimilation par les algues est à son maximum.

Aux Etats-Unis, pour éviter un développement massif d'algues et autres organismes aquatiques provoquant dans l'eau des détériorations organoleptiques affectant la couleur, l'odeur ou la saveur, on doit limiter la teneur en phosphore total des eaux des rivières à 100 mg/l et celle des lacs ou des barrages-réservoirs à 50 mg/l.

D'autres soutiennent que des concentrations en excès de 0.01 mg/l de phosphore inorganique ou de 0.02 mg P total/l et de 0.30 mg/l d'azote inorganique dans un lac au moment des crues printanières présagent une polifération d'algues de densité suffisante pour causer des inconvénients.

Pour l'étude présente, nous avons considéré comme limite pour le phosphore total 0.10 mg/l et pour les nitrates 10 mg/l. En ce qui concerne l'azote total et le potassium, la littérature ne fournit pas beaucoup de détails. Le tableau 6 résume les concentrations critiques des différents éléments nutritifs pour les rivières. (Campbell et al., 1976).

Tableau 6: Concentrations critiques en substances nutritives dans les eaux naturelles. Compilation de résultats trouvés dans la littérature.

Auteur	Milieu	Paramètre	Forme (1)	Concentration (mg/l de N ou P)	Remarques
Mackenthun (1968)	rivière (entrée d' un lac ou réservoir)	P total	S + P	0.050	Concentration au delà de laquelle il y a danger de surproduction d'algues dans le lac ou le réservoir en aval.
	rivière	P total	S + P	0.100	Concentration au delà de laquelle il y a danger de surproduction d'algues dans le cours d'eau.
Nisbet et Verneaux (1970)	rivière	$N\text{-}NO_3$	(S)	<0.225	Eaux très peu productives.
				0.225 - 0.675	Eaux peu productives.
				0.675 - 1.13	Eaux moyennement productives.
				1.13 - 2.26	Eaux très productives.
				2.26 - 3.39	Eaux polluées.
				>3.39	Eaux nettement polluées.
		Phosphates		<0.010	Eaux très peu productives.
				0.010 - 0.050	Eaux peu productives.
				0.050 - 0.150	Eaux moyennement productives.
				0.150 - 0.300	Eaux très productives.
				0.300 - 0.500	Eaux polluées.
				>0.500	Eaux nettement polluées.
Nurhmann et Eichenvurger (1975)	ruisseau expérimental	N-inorg.	S	0.500 - 0.700	Concentrations au delà desquelles la production de périphyton (microphytes) n'augmente plus.
		P-inorg.	(S)	0.008	
Wong et Clark (1976)	ruisseau	P total	S + P	0.060	Concentration au delà de laquelle la production de cladophora n'augmente plus.

(1) Explication des symboles: S= Soluble P= Particulaire

Réf: Campbell, P.G. et al. Qualité des Eaux de la Rivière St-François, vol. 2, p. 14.

8- Rivière St-François et ses principaux affluent

Plusieurs études ont été faites sur la qualité des eaux de la rivière St-François et de ses principaux affluents. Il serait intéressant d'en connaître les résultats avant d'exposer nos propres conclusions.

Dans une étude portant sur la qualité des eaux des rivières St-François et Yamaska (Campbell et al, 1976) on arrive à dire que les eaux du bassin de la rivière St-François possèdent une homogénéité relative au point de vue des substances nutritives. L'explication de cet état se résume à la faible utilisation de son territoire et à la localisation des quelques villes importantes (Sherbrooke et Drummondville) vers l'aval du bassin où le débit est suffisamment élevé pour réduire leur impact. Les différents paramètres étudiés affichent une variation dans le temps. En effet, les concentrations d'azote totale et nitrique atteignent un minimum durant les mois d'été et d'automne et sont maximums en hiver. Nos chercheurs expliquent ce phénomène par l'assimilation biologique de l'azote inorganique favorisée par des températures relativement chaudes et par la transformation subséquente en azote organique durant la saison froide.

Dans la même étude, on remarque que les concentrations observées de plusieurs éléments nutritifs voisinent les limites de sensibilité des méthodes analytiques employées. Le phosphore constitue un exemple de cet état de fait; cette imprécision dans les concentrations influence grandement les variations entre les échantillons qui deviennent plus ou moins significatives.

Parmi les rivières qui sillonnent le bassin St-François, celles qui contiennent des concentrations minimums des différents éléments nutritifs sont la rivière Magog et Au Saumon. Par contre, la rivière St-Germain possède les concentrations moyennes maximums.

Une autre étude portant sur le bassin St-François (Dupont, 1977) a été effectuée sur une période de six ans soit de 1969 à 1975. Parmi les paramètres étudiés, seul le phosphore accusa une baisse de 1969 à 1975. Ce résultat est imputé à la loi gouvernementale de 1970 régissant la teneur en phosphore des détergents. De plus, l'été pluvieuse de 1969 lessiva les terres agricoles augmentant ainsi la charge phosphatée des rivières. Selon Dupont, le phosphore reconnu comme facteur limitatif pour les rivières Magog et St-François augmente le danger d'eutrophisation car toutes les mesures dépassent 0.02 ppm de phosphore. Sa conclusion démontre un état certain de dégradation en ce qui concerne la rivière St-François et commande une surveillance plus étroite de la qualité de ses eaux.

Parmi les principaux affluents de la St-François, la rivière Massawippi a fait l'objet d'une recherche (Ruel, 1971). Son bassin draine les rivières Ascot, Moe, Coaticook, Tomifobia et Niger en plus du lac Massawippi. Après analyse des échantillons, on voit que les nitrites se retrouvent en quantité très restreinte. Pour ce qui est des phosphates, au niveau du lac, ils varient entre 0.336 et 0.517 ppm; les prélèvements effectués sur la rivière se situent entre 0.25 et 1.15 ppm, ce qui est relativement élevé par rapport à la norme de 0.02 ppm de phosphore.

Les eaux du lac Memphrémagog ont aussi été la cible d'expertise (Pagé, 1971). Au cours de l'été 1969, on a remarqué que l'azote organique était présent en quantité dix fois supérieure aux autres formes d'azote. Le maximum en azote organique enregistré à la fin août était de 0.62 mg N/l.

Quant au phosphore, sa concentration variait de 0.02 à 0.09 mg P/l. Il faut dire que les algues sont capables d'absorber et d'emmagasiner des surplus en phosphate. Voilà pourquoi les résultats sont si peu élevés.

Pour en revenir à la rivière St-François, une étude dirigée par Cluis et Durocher (1976) démontre que l'agriculture contribue à au moins 60% des apports de

N et de P pour la Yamaska et la St-François. En prenant des normes tirées de la littérature, des données météorologiques et des modèles mathématiques, ils sont parvenus à affirmer que la contribution des engrais chimiques à ces apports se situerait entre 11 et 21%.

Nous essaierons de vérifier la véracité de cette affirmation en échantillonnant directement la rivière St-François.

9- Bassin versant de la rivière St-François et ses caractéristiques.

1- Localisation du bassin.

Le bassin de la St-François se situe entre les latitudes 44° 34' et 46° 08' et entre les longitudes 70° 48' et 72° 56'. Le bassin Yamaska le borne à l'ouest, les bassins américains au sud, les bassins de la Chaudière et de la Nicolet à l'est et le fleuve St-Laurent au Nord. La figure 1 nous le situe exactement.

2- Utilisation du bassin.

La superficie du bassin est de 10 230 km^2 dont 15% ou 1 535 km^2 font partie des Etats-Unis. Le tableau 7 nous donne ses principales utilisations.

3- Hydrographie.

La rivière St-François prend sa source dans le lac St-François, partie est du bassin. Elle coule dans la direction sud-ouest jusqu'à Lennoxville, les rivières Saumon, Eaton et Massawippi viennent la rejoindre. Elle effectue à Lennoxville un angle de 90° pour s'écouler vers le nord-ouest et elle reçoit, à proximité de Sherbrooke, le tributaire le plus important: la rivière Magog. A partir de ce point, le bassin est drainé à 80%. On retrouve les rivières

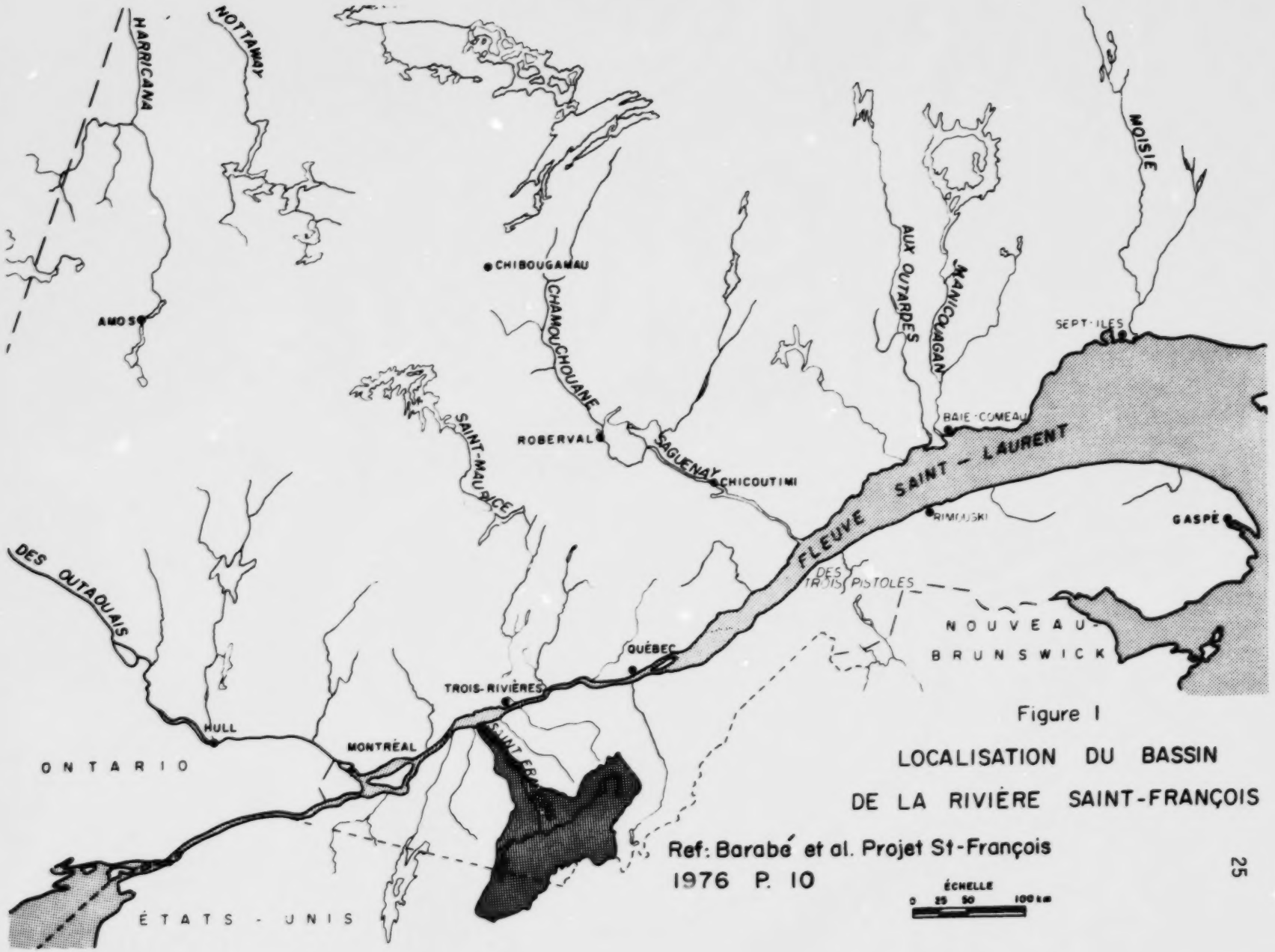


Figure 1

LOCALISATION DU BASSIN
DE LA RIVIÈRE SAINT-FRANÇOIS

Ref: Barabé et al. Projet St-François
1976 P. 10

Tableau 7: Utilisation du bassin St-François

Forêt dense	60 %	6138.0 km^2
Forêt clairsemée	5 %	511.5 km^2
Terres agricoles	20.5%	2091.15 km^2
Terres impropres à la culture	8.5%	869.5 km^2
Superficie peuplée	1.3%	133.0 km^2
Récréation	0.9%	92.1 km^2
Marécages	0.5%	51.15 km^2
Superficie en eau	3.3%	337.6 km^2

Réf: Barabé, G. Louchard, L. Trudel, R. Projet St-François. Etude de la Ressource Eau et de ses Utilisations. 1976. p.30.

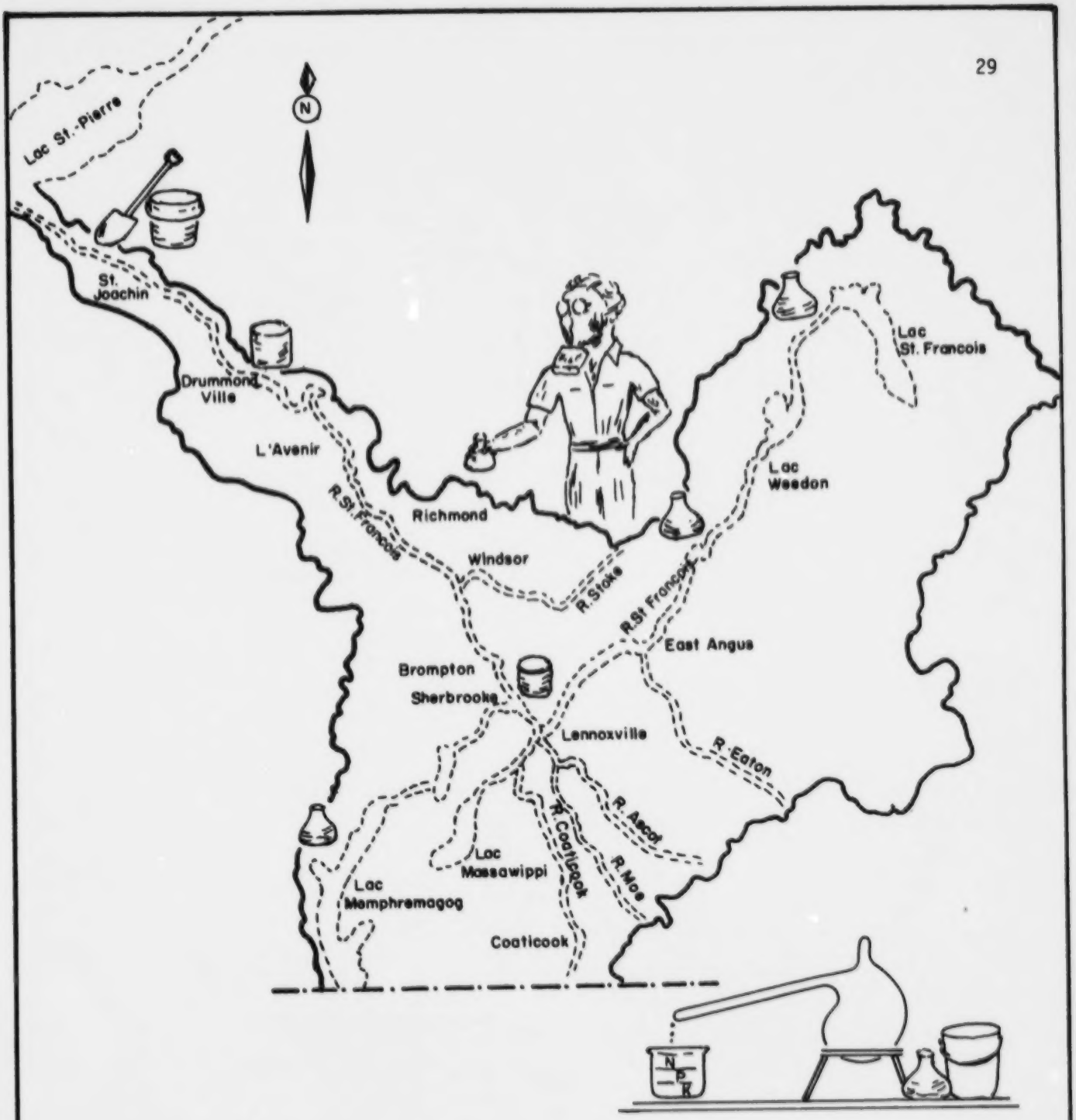
Watopéka, Au Saumon et St-Germain en aval de Sherbrooke qui revèlent une certaine importance mais notre étude ne s'en est pas préoccupée.

Ce bassin regroupe quelques 191 lacs dont 61 sont américains. Le tableau 8 énumère les 5 lacs les plus importants. La figure 2 illustre l'ensemble hydrographique du bassin St-François.

Tableau 8: Caractéristiques des 5 lacs les plus importants du bassin St-François.

Lacs	Longueur (km)	Superficie (km^2)	Bassin versant (km^2)
St-François	27.11	47.1	1204
Aylmer	18.0	29.5	1712
Memphrémagog	44.4	95.3	1634
Magog	11.1	10.9	1937
Massawippi	14.2	17.9	616

Réf: Barabé, G. et al. Projet St-François, Etude de la Ressource Eau et ses Utilisations. 1976. p.19.



ECHANTILLONNAGE ET ANALYSE DES EAUX ET DES BOUES DE LA ST-FRANCOIS

PARTICIPATION A L'ETUDE

Notre étude a porté sur le bassin de la rivière St-François tel que décrit plus haut. Sa réalisation a été rendue possible grâce à la participation de l'équipe suivante:

Jean-Louis Dionne	Conseiller
France Carrier	Responsable du projet
Robert Caron	Echantillonneur
Anne Corriveau	Technicienne de laboratoire
Bernard Giroux	Technicien de laboratoire
Jacques Lalande	Echantillonneur
France Larochelle	Secrétaire
François Perron	Recherchiste
Raymond Touchette	Echantillonneur

MATERIEL ET METHODE

1- Choix des sites d'échantillonnage

On choisit 69 sites localisés le long de la rivière St-François et de ses tributaires, tel qu'indiqué à la figure 3. Nous y avons recueillis des échantillons d'eau à six reprises entre les mois de mai et novembre.

Les cours d'eau impliqués dans cette étude sont:

- rivière St-François à partir du lac St-François jusqu'au Lac St-Pierre.
- rivière Stoke.
- rivière Magog à partir du Lac Memphrémagog jusqu'à la rivière St-François.
- rivière Massawippi.
- rivière Coaticook.
- rivière Moe.
- rivière Ascot.
- rivière Eaton.

En plus des échantillons d'eau pris sur les différentes rivières, on en a prélevés dans des drains et dans des ruisseaux traversant des terres agricoles plus ou moins fertilisées. On a aussi échantillonné à proximité des égoûts urbains de Sherbrooke et Drummondville.

2- Prise d'échantillons et méthodes d'analyse

A) EAU

Pour échantillonner les différents cours d'eau, on utilise des bouteilles de polyéthylène que l'on place dans le sens contraire du courant à environ 60 cm de la rive où il n'y a pas stagnation du cours d'eau.

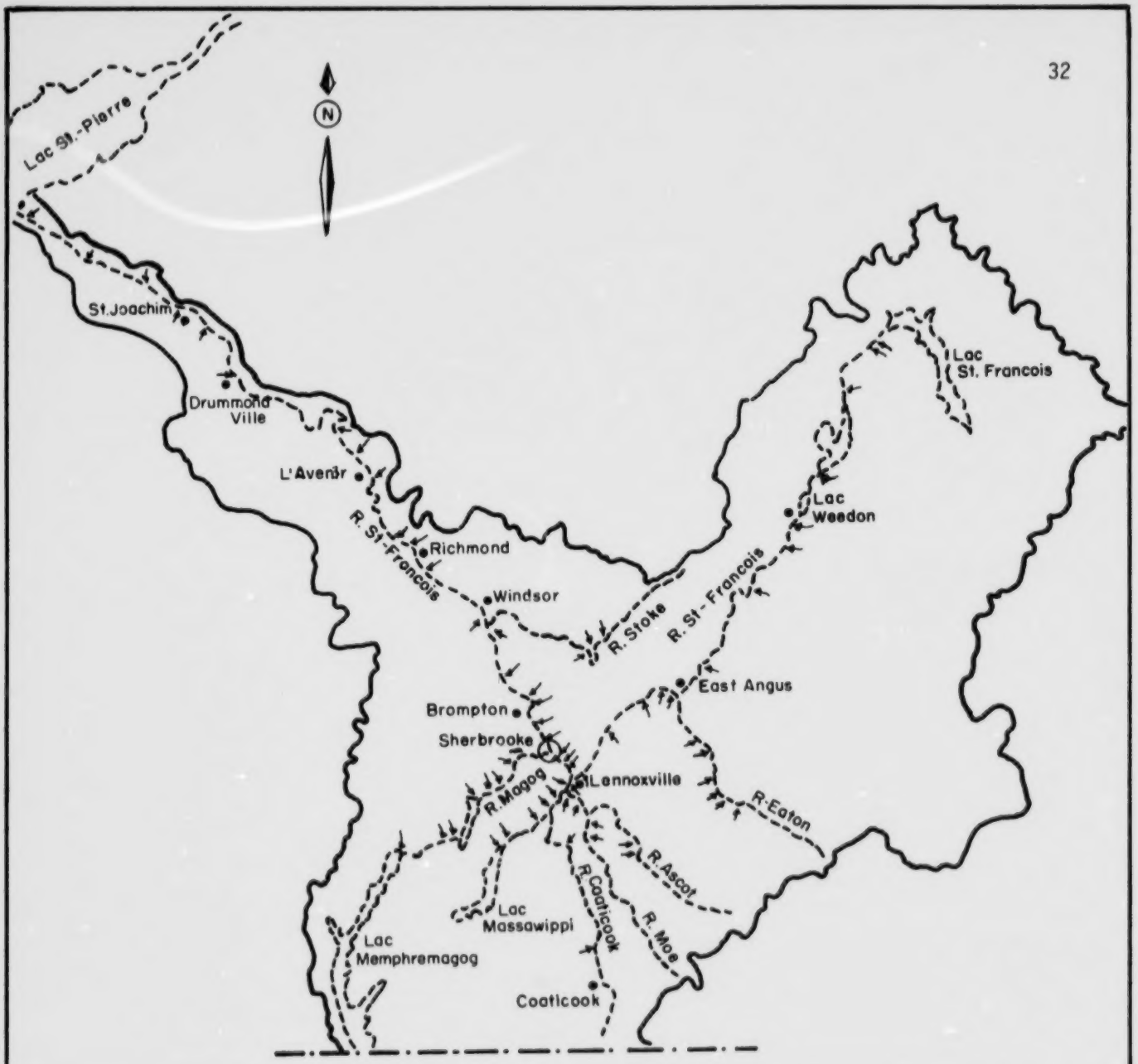


Figure 3

Légende

Rivière , Lac

Bassin Versant

Principales Villes

Localisation des sites d'échantillonnage

BASSIN VERSANT

DE LA

ST - FRANÇOIS

Echelle

0 4 8 12 milles

Les échantillons recueillis durant la journée sont entreposés au réfrigérateur maintenu à 1°C et ce pour la nuit. On procède aux analyses le lendemain.

L'analyse de l'azote total se fait au moyen de la méthode Kjeldhal. On a connu certaines difficultés pour les nitrates, ce qui fait que l'on en tient pas compte dans notre rapport.

On obtient les concentrations en phosphore total avec la méthode colorimétrique du chlorure stanneux et du molybdate d'ammonium après une digestion préalable des échantillons avec l'acide sulfurique et le persulfate de potassium. La détermination du potassium s'effectue par absorption atomique et le pH mètre donne le degré d'acidité des différents échantillons.

B) SOL

On prélève des échantillons de sol entre 10 et 20 centimètres de profondeur. On effectue un prélèvement au mois de juin et un autre au mois d'octobre, après les récoltes. On fait sécher le sol et on le tamise avant analyse. Les échantillons de fonds de rivière prélevés en octobre subissent les mêmes traitements.

Le phosphore assimilable nous est donné par la méthode Bray 2. L'absorption atomique détermine les concentrations en potassium échangeable et le pH mètre indique le degré d'acidité des sols selon les méthodes décrites par le Comité Canadien de Pédologie (1977).

C) PLANTES

On procède aussi à l'échantillonnage des récoltes provenant des champs où les prélèvements de sol ont été faits. Avant la coupe, on ramasse environ 1000 grammes de plantes. On les fait sécher et on moud les différents échantillons.

L'analyse du phosphore s'effectue au moyen de l'Auto analyser II de Technicon après une digestion acide des échantillons (BD 20). L'absorption atomique nous donne le contenu en potassium.

RESULTATS

RESULTATS

1- Azote dans les rivières

Dans la figure 4, on visualise l'évolution des concentrations d'azote le long de la St-François. On remarque des augmentations prononcées au niveau des villes de Sherbrooke, Bromptonville et Drummondville. Ces observations sont valables pour chacun des mois où il y a prise d'échantillons.

En divisant la rivière St-François par segment de 25 kilomètres (tableau 9), on réalise que le secteur de Drummondville avec 2.72 mg N/l contient les concentrations majeures les plus élevées et se distingue nettement de la région en amont de Sherbrooke comprise en Ascot Corner et le Lac St-François selon le test de Duncan. Le secteur de Sherbrooke (2.25 mg N/l) se rapproche de celui de Drummondville au niveau de la valeur absolue.

Au cours de l'étude, nous avons réparti le bassin St-François en 8 régions (figure 5), ce qui nous donne les résultats du tableau 10. La région de Sherbrooke se différencie des autres régions avec une moyenne de 2.30 mg N/l. Celle de Drummondville suit de près avec 2.02 mg N/l. La région MEA (2) comprise entre les rivière Massawippi et Eaton ayant pourtant une vocation agricole ne se place qu'en cinquième position avec 0.91 mg N/l.

Dans le tableau 11, l'interaction DATES X REGIONS n'est aucunement significative ce qui veut dire que le classement des régions par rapport à leur concentration en azote demeure sensiblement le même du mois de juin à novembre.

Selon le tableau 11, les rivières sont significativement différentes entre elles. Le tableau 12 met en évidence la St-François et la Magog avec les concentrations moyennes les plus élevées de 1.44 et 1.34 mg N/l respectivement. La source DATES X RIVIERES n'étant pas significative, on ne peut dire à quel mois correspond une augmentation d'azote dans l'eau.

Figure 4

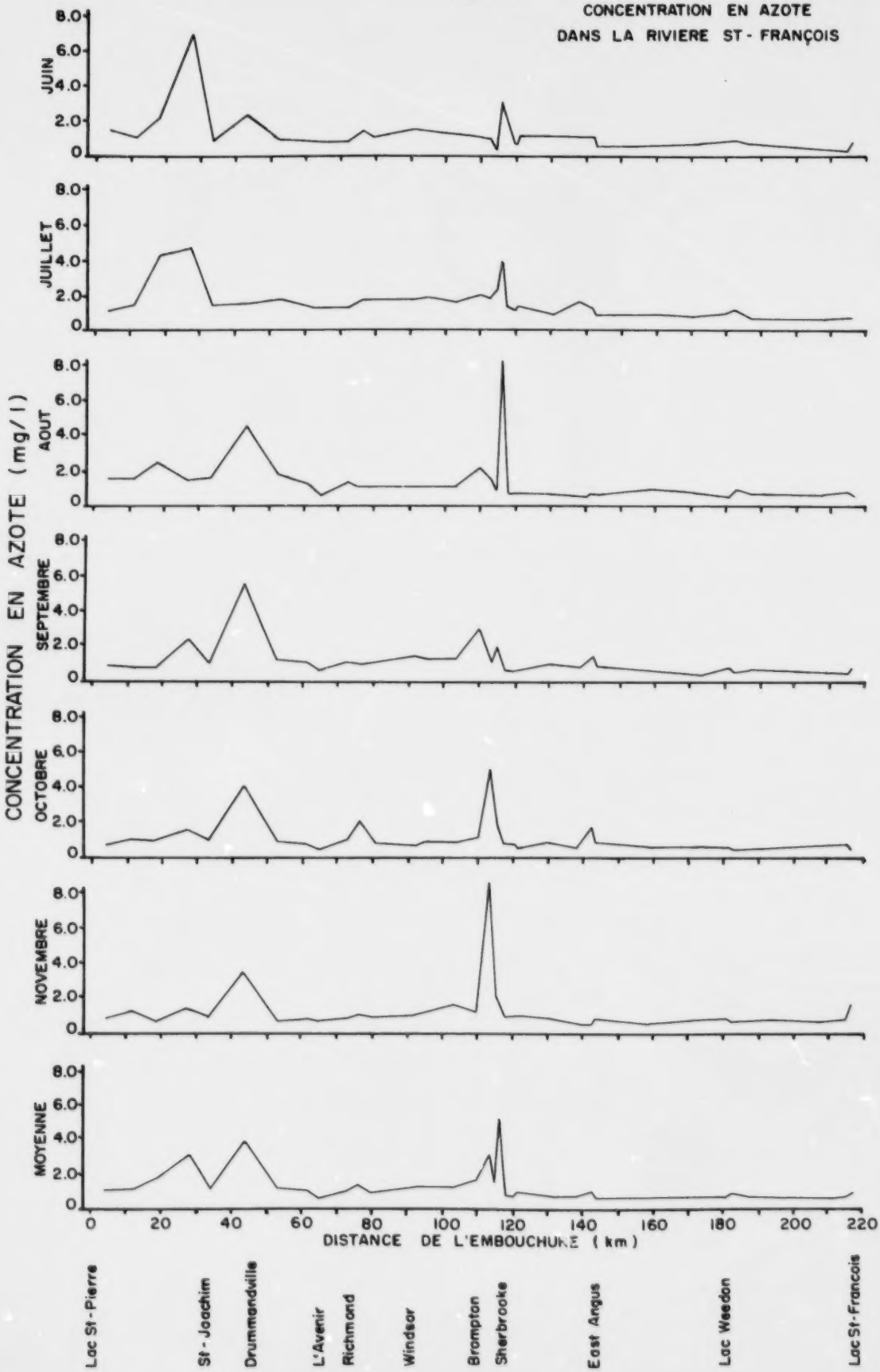

CONCENTRATION EN AZOTE
DANS LA RIVIERE ST - FRANÇOIS
CONCENTRATION EN AZOTE (mg/l)
JUIN
JUILLET
AOUT
SEPTEMBRE
OCTOBRE
NOVEMBRE
MOYENNE
8.0
6.0
4.0
2.0
0
0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200 220
DISTANCE DE L'EMBOUCHURE (km)
Lac St-Pierre
St-Joachim
Drummondville
L'Avenir
Richmond
Windsor
Brompton
Sherbrooke
East Angus
Lac Weedon
Lac St-François

Tableau 9: Teneurs moyennes d'azote, de phosphore et de potassium retrouvées dans la rivière St-François par tranche de 25 kilomètres.

Distance de l'embouchure (km)	Endroit*	Nombre d'observations	Teneur en éléments totaux		
			Azote (ppm.)	Phosphore P (ppm.)	Potassium K (ppm.)
0 à 25	Pierreville	17	1.43^{ab**}	0.09^{b}	3.08^{b}
25 à 50	Drummondville	18	2.72^{a}	0.30^{a}	4.70^{a}
51 à 75	Avenir - St-Nicéphore	23	1.01^{b}	0.09^{b}	1.76^{c}
76 à 100	Richmond - Windsor	21	1.27^{b}	0.10^{b}	1.79^{c}
101 à 125	Sherbrooke	45	2.25^{ab}	0.31^{a}	1.90^{c}
126 à 150	Ascot - East Angus	24	0.88^{b}	0.05^{b}	1.04^{c}
151 à 175	Bishopton	12	0.71^{b}	0.06^{b}	0.90^{c}
176 à 200	Lac Weedon	18	1.18^{b}	0.08^{b}	0.96^{c}
201 à 225	Lac St-François	18	0.74^{b}	0.04^{b}	0.94^{c}

* Les endroits énumérés constituent un point de repère pour chacun des segments.

** Les valeurs portant la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil P de 0.05 (Test de Duncan).

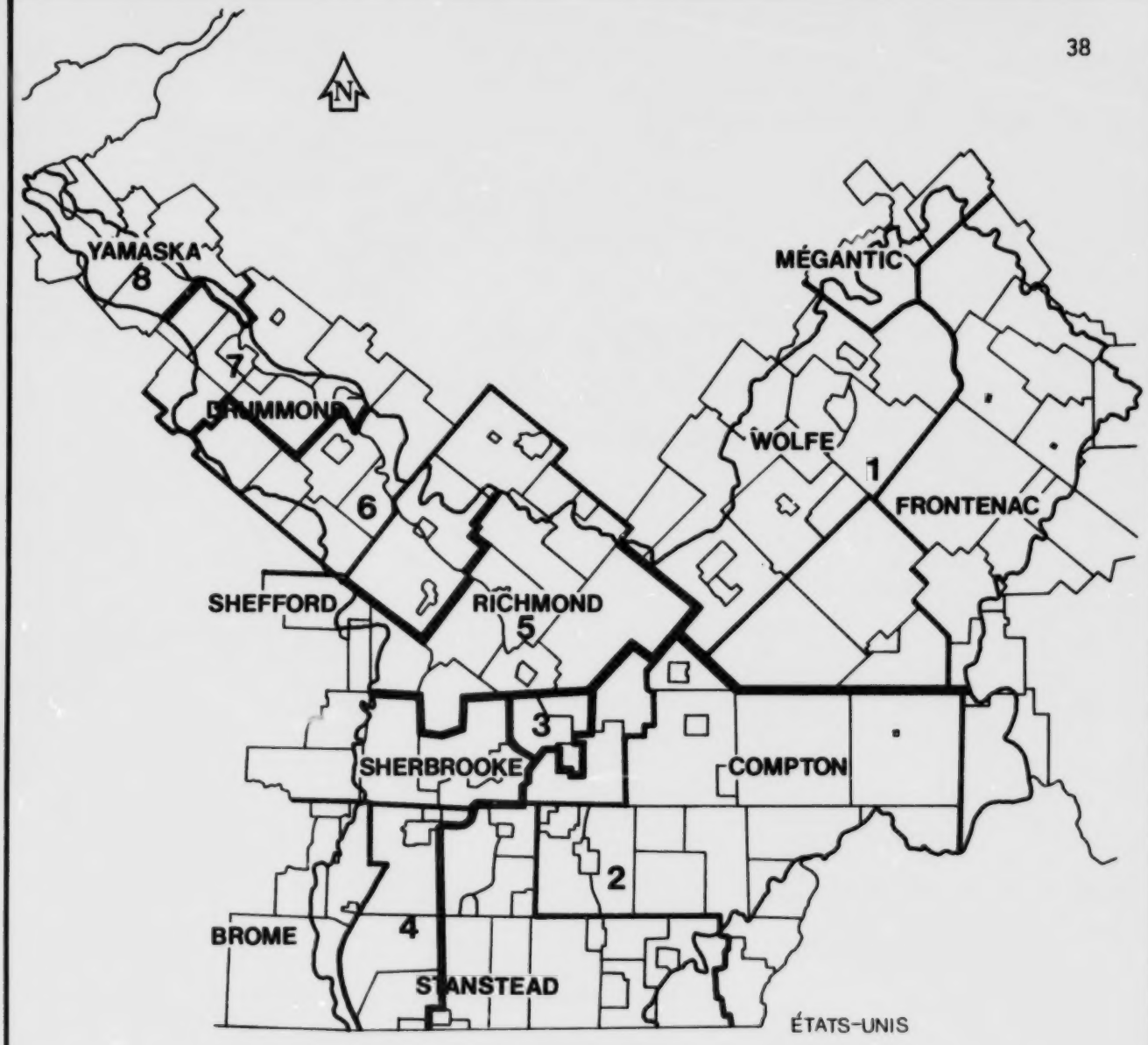


Figure 5

IDENTIFICATION DES REGIONS UTILISEES

1	LSF	2	MEA
3	SHE	4	MAG
5	WBR	6	ARI
7	DRU	8	LSP

BASSIN VERSANT
DE LA
ST-FRANÇOIS

0 4 8 12 milles

Tableau 10: Teneur de l'Eau en Azote (ppm.)
Régions en fonction des dates d'échantillonnage

Régions	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Moyenne
1 - LSF (Lac St-François)	0.78	0.98	0.72	0.73	0.76	0.83	0.80^{e**}
2 - MEA (Massawippi-Eaton)	1.16	1.32	0.80	0.66	0.74	0.81	0.91^{de}
3 - SHE (Sherbrooke)	1.08	2.04	2.15	4.15	1.69	2.47	2.30^{a}
4 - MAG (Magog)	0.55	1.67	1.31	2.74	1.08	0.95	1.38^{cd}
5 - WBR (Windsor-Brompton)	0.95	1.32	1.32	1.35	0.80	1.26	1.16^{de}
6 - ARI (L'Avenir-Richmond)	1.00	1.40	1.01	0.94	1.19	0.92	1.07^{de}
7 - DRU (Drummondville)	1.33	1.57	2.86	2.71	1.99	1.67	2.02^{ab}
8 - LSP (Lac St-Pierre)	2.50	2.62	1.81	1.22	1.10	1.01	1.71^{bc}
Moyennes	1.11	1.47	1.20	1.48	0.99	1.09	1.23

** Les valeurs portant la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil P de 0.05 (Test de Duncan).

Tableau 11: Variations statistiques des teneurs en N, P et K en fonction des sites, des dates d'échantillonnage, des rivières et des régions.

Source	Valeur de F		
	Azote total	Phosphore total	Potassium
Sites	4.03*	4.30*	5.82*
Dates d'échant.	1.67 n.s.	1.79 n.s.	2.23 n.s.
Rivières	2.25*	2.91*	6.75*
Régions	7.85*	8.83*	26.87*
Dates x Rivières	0.41 n.s.	0.52 n.s.	0.62 n.s.
Dates x Régions	1.19 n.s.	1.36 n.s.	1.26 n.s.

* Les valeurs sont significativement différentes entre elles.

n.s.: La différence entre les valeurs est non-significative.

Tableau 12: Teneur de l'Eau en Azote (ppm.)
Rivières en fonction des dates d'échantillonnage

Rivières	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Moyenne
St-François	1.28	1.59	1.46	1.18	1.29	1.29	1.44^{a**}
Eaton	1.25	0.80	0.89	0.67	0.98	0.79	0.90^{ab}
Massawippi	0.98	1.64	0.79	0.58	0.56	0.76	0.89^{ab}
Ascot	1.24	1.68	0.81	0.74	0.79	0.74	1.00^{ab}
Moe	0.95	0.90	0.42	0.42	0.72	0.72	0.68^{c}
Coaticook	1.30	1.25	0.86	0.86	0.67	1.29	1.07^{ab}
Magog	0.65	1.72	1.37	2.30	1.02	0.99	1.34^{a}
Stoke	0.62	0.88	1.08	0.92	0.61	1.24	0.88^{ab}
Moyennes	1.11	1.47	1.21	1.48	0.99	1.09	1.23

** Les valeurs portant la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil P de 0.05 (Test de Duncan).

2- Phosphore dans les rivières

Le phosphore se comporte similairement à l'azote le long de la St-François si on observe la figure 6. La ville de Sherbrooke vient en tête avec un pic de 1.50 mg P/l en moyenne, résultat qui dépasse de beaucoup la limite de 0.10 mg P/l. Vis-à-vis Drummondville, la remontée plus atténuée atteint une moyenne de 0.36 mg P/l et celle de St-Elphège correspond à 0.43 mg P/l en moyenne.

Par tranche de 25 kilomètres (tableau 9), les segments de Drummondville et de Sherbrooke se différencient des autres avec des concentrations respectives de 0.30 et 0.31 mg P/l. Les autres résultats moyens varient entre 0.04 et 0.10 mg P/l, limite tolérée pour éviter la surproduction d'algues dans les rivières.

Au niveau des régions, en regard des résultats significativement différents (tableau 13), on conclue que la région de Sherbrooke diffère des autres régions avec la plus haute teneur moyenne de 0.29 mg P/l. Les régions LSF (1) et MEA (2) ont des concentrations inférieures à la limite de 0.10 mg P/l.

On a noté une différence significative entre la teneur en P des rivières. Ainsi, la Magog (0.17 mg P/l) et la St-François (0.15 mg P/l) possèdent les concentrations moyennes les plus élevées mais qui se rapprochent de la norme de 0.10 mg P/l. Toutes les autres rivières ont des concentrations moyennes inférieures à la limite de 0.10 mg P/l et elles serpentent pourtant des régions agricoles.

3- Potassium

Les tendances observées pour l'azote et le phosphore ne se répètent pas pour le potassium. Avec la figure 7, on voit que du Lac St-François à Sherbrooke, la concentration moyenne en K est relativement stable. A Sherbrooke, l'élévation des teneurs beaucoup moins marquée que dans le cas de l'azote, atteint une moyenne de 3.66 mg K/l. Par contre, à St-Joachim, on obtient 8.25 mg K/l.

Figure 6

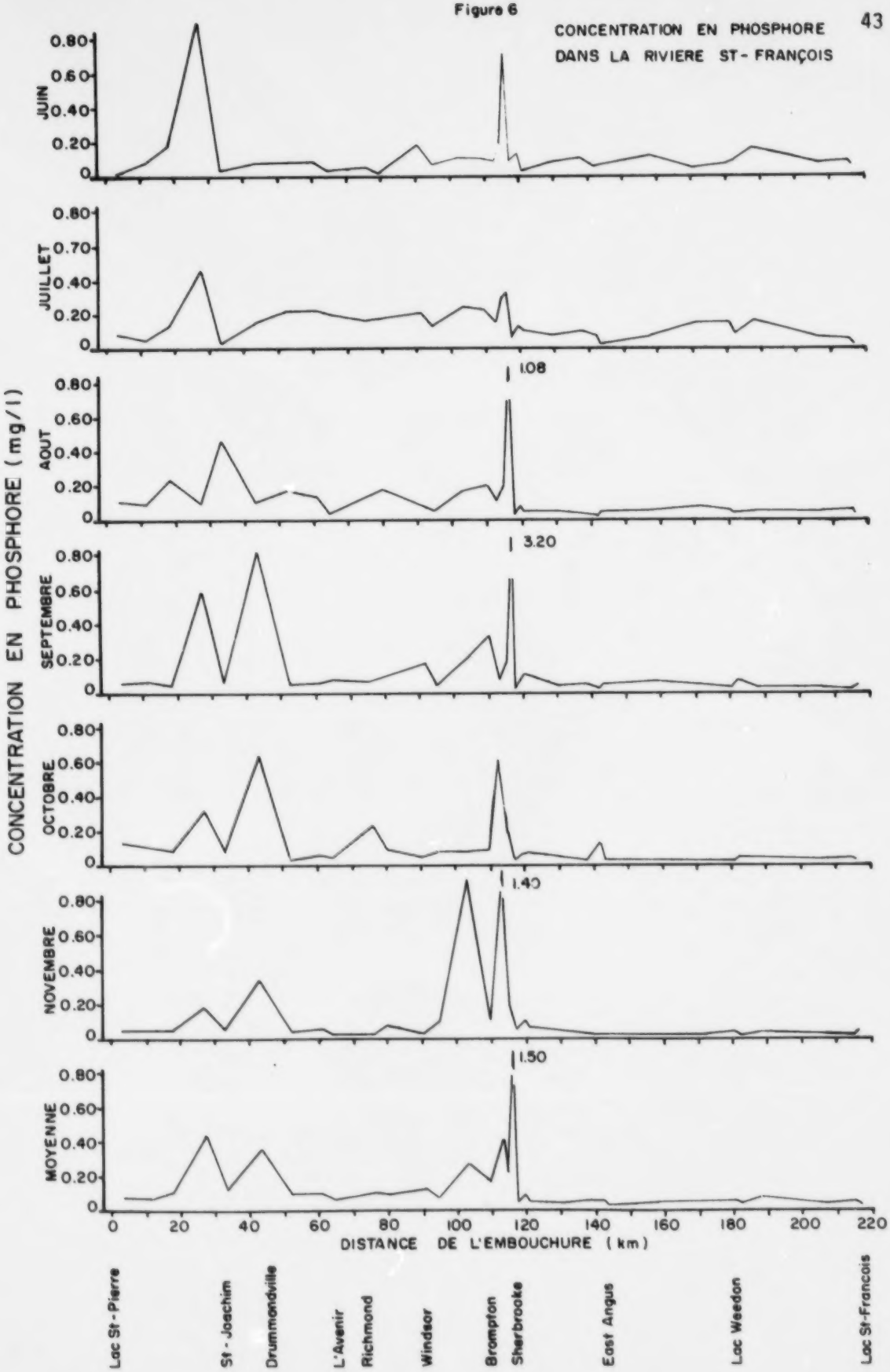

CONCENTRATION EN PHOSPHORE
DANS LA RIVIERE ST-FRANÇOIS
CONCENTRATION EN PHOSPHORE (mg/l)
JUIN
JUILLET
AOUT
SEPTEMBRE
OCTOBRE
NOVEMBRE
MOYENNE
1.08
3.20
1.40
1.50
0.80
0.60
0.40
0.20
0.70
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200
220
DISTANCE DE L'EMBOUCHURE (km)
Lac St-Pierre
St-Joachim
Drummondville
L'Avenir
Richmond
Windsor
Brompton
Sherbrooke
East Angus
Lac Weedon
Lac St-Francois

Tableau 13: Teneur de l'Eau en Phosphore (ppm.)
Régions en fonction des dates d'échantillonnage

Régions	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Moyenne
1 - LSF (Lac St-François)	.080	.085	.047	.041	.038	.030	.054^{cd**}
2 - MEA (Massawippi-Eaton)	.107	.080	.060	.038	.048	.029	.060^{cd}
3 - SHE (Sherbrooke)	.241	.180	.403	.631	.102	.114	.288^{a}
4 - MAG (Magog)	.076	.121	.160	.553	.075	.086	.178^{b}
5 - WBR (Windsor-Brompton)	.076	.126	.095	.117	.110	.317	.143^{bc}
6 - ARI (L'Avenir-Richmond)	.050	.156	.130	.075	.122	.037	.116^{bc}
7 - DRU (Drummondville)	.080	.190	.133	.310	.243	.143	.183^{b}
8 - LSP (Lac St-Pierre)	.242	.152	.196	.166	.144	.076	.162^{b}
Moyennes	.113	.114	.120	.178	.081	.089	.115

** Les valeurs portant la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil P de 0.05 (Test de Duncan).

Tableau 14: Teneur de l'Eau en Phosphore (ppm.)

Rivières en fonction des dates d'échantillonnage

Rivières	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Moyenne
St-François	.130	.142	.156	.218	.110	.129	.146^{ab**}
Eaton	.097	.063	.038	.027	.040	.020	.047^{c}
Massawippi	.114	.130	.060	.052	.068	.038	.077^{bc}
Ascot	.100	.032	.077	.039	.039	.029	.055^{c}
Moe	.070	.030	.050	.020	.045	.020	.039^{c}
Coaticook	.125	.130	.095	.050	.035	.035	.078^{bc}
Magog	.092	.127	.159	.449	.086	.092	.167^{a}
Stoke	.035	.046	.025	.060	.020	.080	.045^{c}
Moyennes	.113	.114	.120	.178	.081	.089	.115

** Les valeurs portant la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil P de 0.05 (Test de Duncan).

Figure 7

CONCENTRATION EN POTASSIUM
DANS LA RIVIERE ST - FRANÇOIS

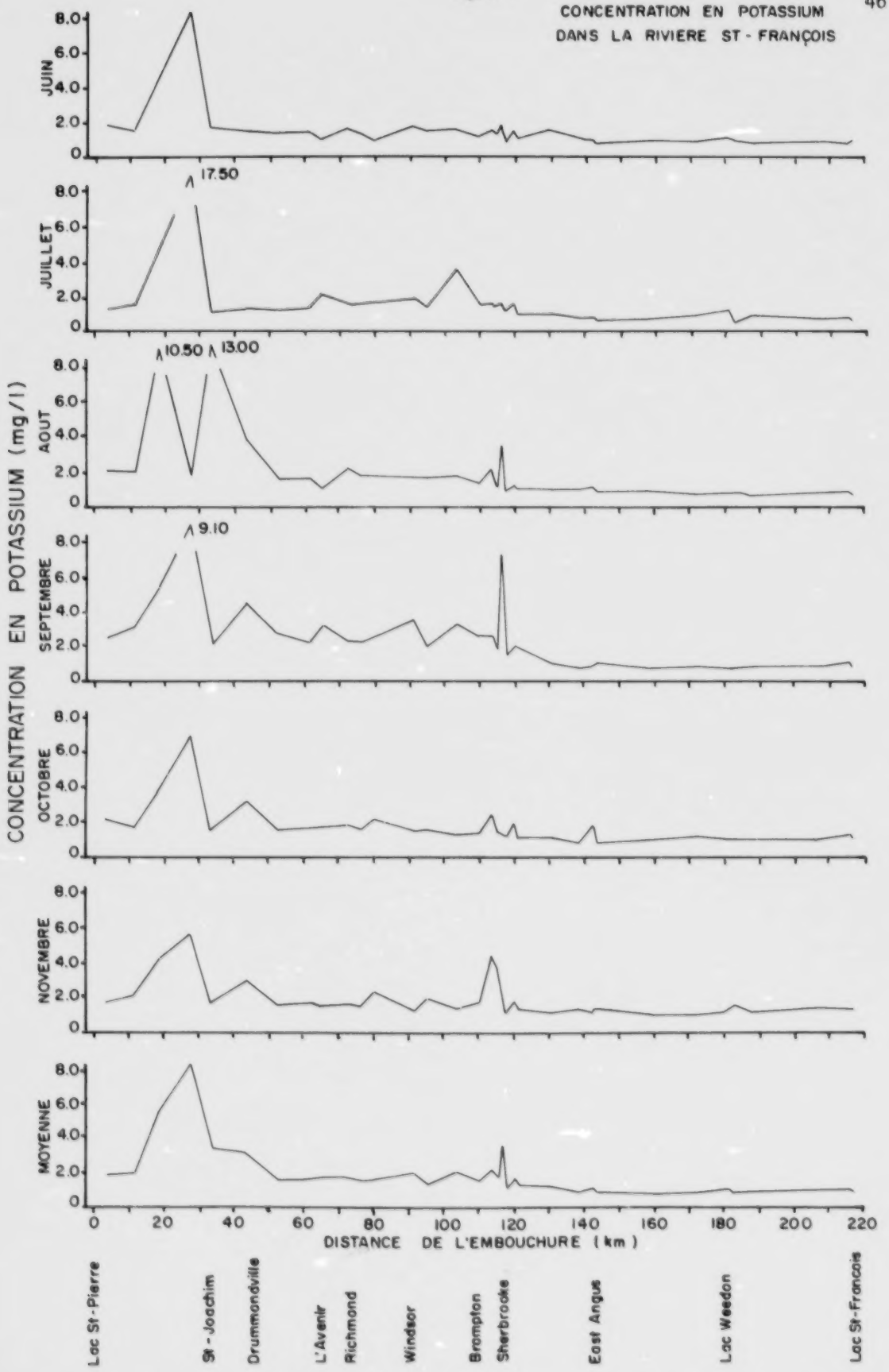


Tableau 15: Teneur de l'Eau en Potassium (ppm.)
Régions en fonction des dates d'échantillonnage

Régions	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Moyenne
1 - LSF (Lac St-François)	.958	.807	.872	.915	1.08	1.23	$.982^{d**}$
2 - MEA (Massawippi-Eaton)	1.80	1.12	1.66	1.75	1.71	1.65	1.61^{c}
3 - SHE (Sherbrooke)	1.41	1.44	1.77	2.74	1.83	2.55	1.95^{bc}
4 - MAG (Magog)	1.62	1.03	1.53	2.05	1.80	1.87	1.65^{c}
5 - WBR (Windsor-Brompton)	1.16	1.68	1.40	1.95	1.29	1.51	1.50^{c}
6 - ARI (L'Avenir-Richmond)	1.20	1.77	1.70	2.75	1.88	1.78	1.76^{bc}
7 - DRU (Drummondville)	1.45	1.37	2.37	3.63	2.17	2.17	2.19^{b}
8 - LSP (Lac St-Pierre)	3.64	5.38	5.92	4.46	3.24	3.12	4.26^{a}
Moyennes	1.54	1.47	1.85	2.09	1.70	1.79	1.75

** Les valeurs portant la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil P de 0.05 (Test de Duncan)

Tableau 16: Teneur de l'Eau en Potassium (ppm)

Rivières en fonction des dates d'échantillonnage

Rivières	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Moyenne
St-François	1.55	1.79	2.10	2.50	1.74	1.90	1.91[b**]
Eaton	0.64	0.92	1.13	0.93	1.18	1.20	1.00[c]
Massawippi	1.78	1.39	1.46	2.43	1.93	1.99	1.81[b]
Ascot	1.92	1.26	1.46	1.64	1.84	1.54	1.61[b]
Moe	2.10	1.30	1.65	2.00	2.40	1.95	1.90[b]
Coaticook	4.80	1.05	4.50	2.20	1.50	1.80	2.69[a]
Magog	1.58	1.10	1.56	2.04	1.81	1.95	1.67[b]
Stoke	0.86	1.25	1.05	1.02	1.13	1.35	1.11[c]
Moyennes	1.59	1.47	1.85	2.09	1.70	1.79	1.75

** Les valeurs portant la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil P de 0.05 (Test de Duncan).

Si on compare les tranches de 25 kilomètres, les segments de Drummondville et Pierreville diffèrent des autres sections avec des moyennes respectives de 4.70 et 3.08 mg K/l. (Voir tableau 9).

Selon le tableau 11, les dates d'échantillonnage et le bloc DATES X REGIONS ne sont pas significatifs. Par contre, les régions avec un F de 26.87 démontrent une différence significative. D'après le tableau 15, la région du Lac St-Pierre constitue la partie la plus riche en potassium avec 4.26 mg K/l en moyenne.

L'interaction DATES X RIVIERES ne présente aucune différence significative (tableau 11) contrairement à la variable rivières. Le tableau 16 identifie la Coaticook comme la rivière la plus riche en potassium (2.69 mg K/l) mais l'échantillonnage restreint (2 sites) comparativement à celui de la St-François (34 sites) nous permet de considérer plus ou moins la validité de ce résultat.

4- Charges instantanées et mensuelles

Le Ministère des Richesses Naturelles nous a fourni les débits d'eau instantanés et mensuels pour quelques stations d'échantillonnage sur la rivière St-François. Les tableaux 17 à 21 regroupent ces données ainsi que les charges journalières et mensuelles de N, P et K calculées à partir de nos concentrations en ces points. Le débit journalier des cinq stations est au plus bas en juillet. Les mois de mai et juin fournissent les débits les plus élevés à cause du dégel printanier dont les effets se font encore sentir.

Les charges instantanées et mensuelles en phosphore sont beaucoup moins considérables que celles en azote et en potassium. Il semble que la charge en phosphore prenne de l'ampleur en mai et juin; il en serait de même pour le potassium. Par contre, celles en azote augmentent durant les mois de septembre et octobre.

Tableau 17: Charges instantanées, mensuelles et saisonnières en azote, phosphore et potassium pour la rivière St-François.
Station 2: Décharge du Lac St-François.

Date	Débit inst. M^3 / sec.	Charge instantanée t.m. / jour N	P	K	Débit mensuel M^3 / sec.	Charge mensuelle t.m. / mois N	P	K
06/05/79	28	0.7	0.2	2	33	26	8	70
19/07/79	7	0.5	0.03	0.4	13	28	2	2[illegible]
21/08/79	9	0.7	0.05	0.7	9	19	1	18
24/09/79	7	0.4	0.011	0.7	12	17	0.6	34
23/10/79	22	1.6	0.06	2.1	28	62	2	81
20/11/79	11	0.8	0.02	1.2	10	20	0.5	32
				Charge saisonnière (t.m.)		172	14	259

T.M. / jour = Conc. en mg/l. X débit en m^3/sec. X 0.0864.

Tableau 18: Station 3: Rivière St-François à 1.3 km. en aval du réservoir Aylmer.

Date	Débit inst. M^3 / sec.	Charge instantanée t.m. / jour			Débit mensuel M^3 / sec.	Charge mensuelle t.m. / mois		
		N	P	K		N	P	K
05/06/79	52	---	0.3	4	47	---	7	110
19/07/79	10	0.5	0.1	0.6	14	23	2	27
16/08/79	11	0.6	0.1	0.8	11	18	1	24
01/09/79	12	0.6	0.03	0.9	29	42	2	68
22/10/79	35	2	0.1	3.0	34	61	2	91
20/11/79	24	1	0.04	3.0	16	25	1	57
				Charge saisonnière (t.m.)		169	15	377

Tableau 19: Station 18: Rivière St-François au pont-route 112 à Ascot Corner.

Date	Débit inst. m^3 / sec.	Charge instantanée t.m. / jour N	P	K	Débit mensuel m^3 / sec.	Charge mensuelle t.m. / mois N	P	K
28/05/79	93	---	0.7	11	99	---	24	376
17/07/79	15	1	0.1	1	20	47	4	52
23/08/79	22	1	0.1	2	24	44	3	66
18/09/79	49	4	0.2	5	51	133	5	147
14/11/79	46	4	0.2	4	----	----	---	----
			Charge saisonnière (t.m.)			224	36	641

Tableau 20: Station 49: Rivière St-François à 0.3 km en amont du pont-route 143 à Bromptonville.

Date	Débit inst. m^3 / sec.	Charge instantanée t.m. / jour N	P	K	Débit mensuel m^3 / sec.	Charge mensuelle t.m. / mois N	P	K
04/06/79	209	18	2	21	154	398	44	458
18/07/79	26	4	0.5	3	30	160	18	120
20/08/79	27	5	0.5	3	40	245	22	152
10/09/79	94	25	2.7	21	89	700	76	297
23/10/79	89	10	0.7	11	78	268	19	291
20/11/79	85	8	0.7	14	128	379	30	632
					Charge saisonnière (t.m.)	2150	209	1950

Tableau 21: Station 64: Rivière St-François à Drummondville (Hemming's Fall)

Date	Débit inst. m^3 / sec.	Charge instantanée t.m. / jour N	P	K	Débit mensuel m^3 / sec.	Charge mensuelle t.m. / mois N	P	K
01/06/79	----	----	----	----	250	1490	52	972
17/07/79	----	----	----	----	90	386	36	337
14/08/79	----	----	----	----	52	763	153	529
05/09/79	----	----	----	----	44	659	93	661
15/10/79	----	----	----	----	94	1042	161	781
15/11/79	----	----	----	----	104	949	92	809
					Charge saisonnière (t.m.)	5289	587	4089

Tableau 22: Charges saisonnières en N, P et K en cinq points de la rivière St-François.

Station	Endroit	Charge saisonnière (t.m.)		
		N	P	K
2	Lac St-François	172	14	259
3	Lac Aylmer	169	15	377
18	Ascot Corner	224	36	641
49	Bromptonville	2150	209	1950
64	Drummondville	5289	587	4089

Si on compare les charges saisonnières (tableau 22), c'est-à-dire l'addition des charges mensuelles pour chacun des sites, on s'aperçoit que les quantités d'éléments nutritifs augmentent régulièrement du Lac St-François à Drummondville et que les quantités d'azote correspondent à environ dix fois celles de phosphore.

5- Le pH de l'eau

L'analyse du pH des échantillons d'eau effectuée sur les deux dernières prises démontre que l'eau est presque toujours basique avec des pH variant de 7.0 à 8.9.

Il faudrait de grandes quantités de pluies acides pour abaisser le degré d'acidité de l'eau en dessous de pH 5.0.

6- Teneurs en éléments nutritifs dans les eaux de provenances diverses

On a comparé la teneur en N, P et K des échantillons d'eau de diverses provenances. (Voir tableau 23).

Les eaux des égoûts des villes de Sherbrooke et de Drummondville possèdent un pouvoir polluant assez révélateur. Des quantités de phosphore total de 2.08 mg P/l révèlent une situation quelque peu alarmante quant à l'eutrophisation des cours d'eau.

Le ruisseau agricole ne soulève pas beaucoup d'inquiétude. Par contre, le drain agricole et l'eau de ruissellement provenant du tas de fumier transportent des quantités non négligeables d'azote et de phosphore. En effet, le drain entraîne 0.28 mg P/l et l'eau de ruissellement venant du tas de fumier 0.18 mg P/l, ce qui constituent des situations à surveiller. Concernant le potassium, les quantités prennent de l'importance pour le tas de fumier (9.78 mg K/l) même si on ne s'en

Tableau 23: Comparaison des concentrations en azote total, en phosphore total et en potassium dans les eaux provenant de différentes sources.

Source	N total (ppm)	P total (ppm)	K (ppm)
Rivière St-François à Windsor	1.29	0.13	2.01
Egoût à Sherbrooke Grandes Fourches	2.60	0.46	2.24
Egoût à Drummondville Pont de la Traverse	18.77	2.08	5.76
Ruisseau agricole (Compton)	0.67	0.03	1.50
Drain agricole (Compton)	2.62	0.28	2.60
Tas de fumier (eau de ruissellement)	3.96	0.18	9.78

N.B.: Les teneurs en éléments nutritifs compilées dans ce tableau correspondent à la moyenne des résultats des six prises.

préoccupe pas ou peu en regard de la pollution des eaux.

Si on considère le tableau 23 comme représentatif de diverses situations, les égoûts urbains fournissent les plus grandes quantités d'éléments nutritifs étant donné leur apport continu. Le deuxième rang revient aux drains agricoles et aux fumiers. Les premiers sont impliqués surtout au printemps après application d'engrais, ce qui signifie un apport saisonnier. Quant aux excréments d'animaux, il faut leur prêter une attention spéciale de façon à ce que leurs eaux de ruissellement ne viennent pas contaminer les cours d'eau.

7- Teneur en phosphore assimilable et en potassium échangeable et pH des lits des rivières

En prélevant des échantillons de sols reposant au fond des rivières, il est possible de voir si une grande quantité d'éléments nutritifs s'attache à ces sédiments et si le risque d'entraînement par le courant accentue leur concentration dans l'eau.

Le tableau 24 nous indique la provenance des échantillons ainsi que leur contenu en N, P et K. Les quantités de phosphore assimilable et de potassium échangeable sont peu élevées pour des sols. La rivière Coaticook avec 113 ppm et la St-François à Drummondville avec 116 ppm de phosphore possèdent des quantités appréciables mais la situation n'a rien d'alarmant car les sols agricoles possédant cette teneur en P assimilable et en K échangeable sont considérés comme pauvres.

Les concentrations en potassium ne dépassent pas 10.2 ppm, ce qui signifie que le lit des cours d'eau retient peu de cet élément.

Le pH varie d'un endroit à l'autre d'où la difficulté d'en tirer une conclusion; de toute façon, ces fonds de rivières sont loin de posséder un fort degré d'acidité.

Tableau 24: Teneur en NO_3, P et K et pH des échantillons de sol provenant du fond des rivières.

Provenance de l'échantillon	Numéro d'échant.	pH	Nitrates (ppm)	Phosphore (ppm)	Potassium (ppm)
Ruisseau à St-Herménégilde	521	6.4	1.5	32	7.1
Barrage de Huntingville	522	8.2	0.6	42	2.9
Lac Massawippi	523	7.5	1.7	15	2.4
Lac St-François	524	8.3	1.1	23	2.5
Rivière Coaticook (Compton)	525	7.3	11.6	113	10.2
Rivière St-François (Weedon)	526	7.4	3.7	16	7.0
Rivière St-François (Drummondville)	527	7.4	4.9	116	4.1
Rivière Massawippi	528	7.5	2.2	40	3.2
Rivière Magog	529	8.4	1.9	37	2.7

8- Teneur en phosphore assimilable, en potassium échangeable et pH des sols agricoles dans le bassin St-François.

Une autre partie du travail consiste à évaluer la teneur des sols en P, en K et le pH pour le territoire du bassin St-François et ce à partir de plus de 7,000 analyses de sols effectuées par les laboratoires du M.A.P.A.Q. de Rock Forest et de Nicolet. On ne possède aucun renseignement pour l'azote car l'analyse de la matière organique n'est pas routinière.

A l'aide des données compilées (non détaillées dans le rapport), on a élaboré les figures 8, 9 et 10 où les concentrations en phosphore et en potassium ainsi que le pH sont établis par municipalité. En ce qui concerne le phosphore, la plupart des sols se retrouvent dans les catégories pauvres et moyennes. Le potassium donne à peu près les mêmes résultats à l'exception de quelques municipalités riches en élément K. Quant au pH, il varie entre 5.0 et 7.0 avec une moyenne de 5.89.

Dans le tableau 25, on ramène les résultats sur une base de région. Concernant le phosphore, la majeure partie du bassin en contient de 101 à 200 kg/ha, ce qui correspond à un niveau moyen. Seules les régions de Drummondville et du Lac St-Pierre se classent au niveau riche (201 à 400 kg P/ha). Pour le potassium, toutes les régions en contiennent des taux moyens, c'est-à-dire entre 100 et 200 kg K/ha. Les sols possèdent un léger degré d'acidité. Leur pH moyen varie entre 5.6 et 6.0 pour tout le bassin.

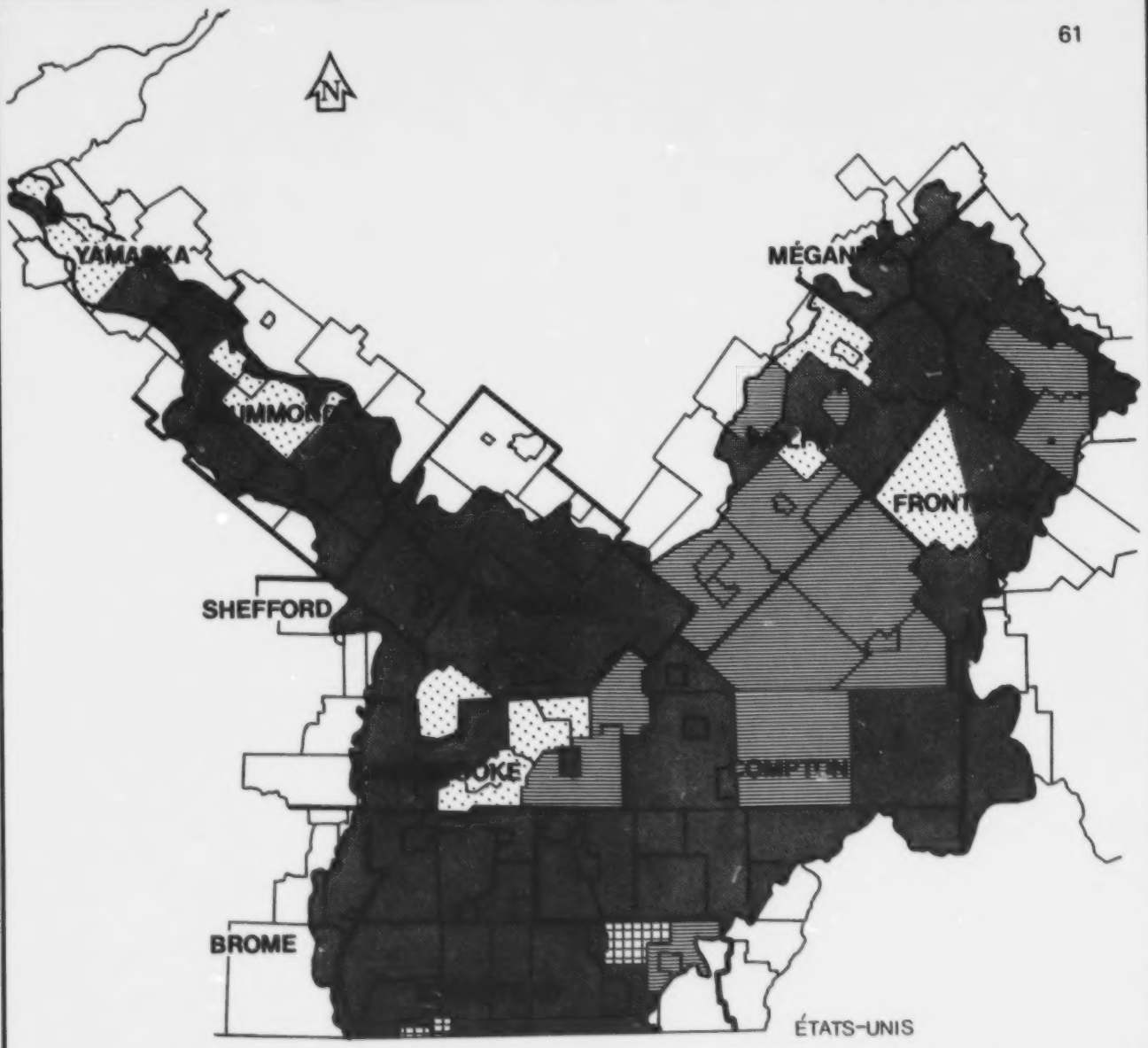


Figure 8

CONCENTRATION EN PHOSPHORE ASSIMILABLE (P) DANS LES SOLS (Bray 2)

Légende

0 à 100 kg/ha (Pauvre)	
101 à 200 kg/ha (Moyen)	
201 à 400 kg/ha (Riche)	
401 et plus (Très riche)	

BASSIN VERSANT DE LA ST-FRANÇOIS

0 4 8 12 milles

Figure 9
CONCENTRATION EN POTASSIUM ECHANGEABLE (K) DANS LES SOLS

Légende

0 à 100 kg/ha (pauvre)
101 à 200 kg/ha (Moyen)
201 à 400 kg/ha (Riche)
401 et plus (Très riche)

BASSIN VERSANT DE LA
ST-FRANÇOIS

0 4 8 12 milles

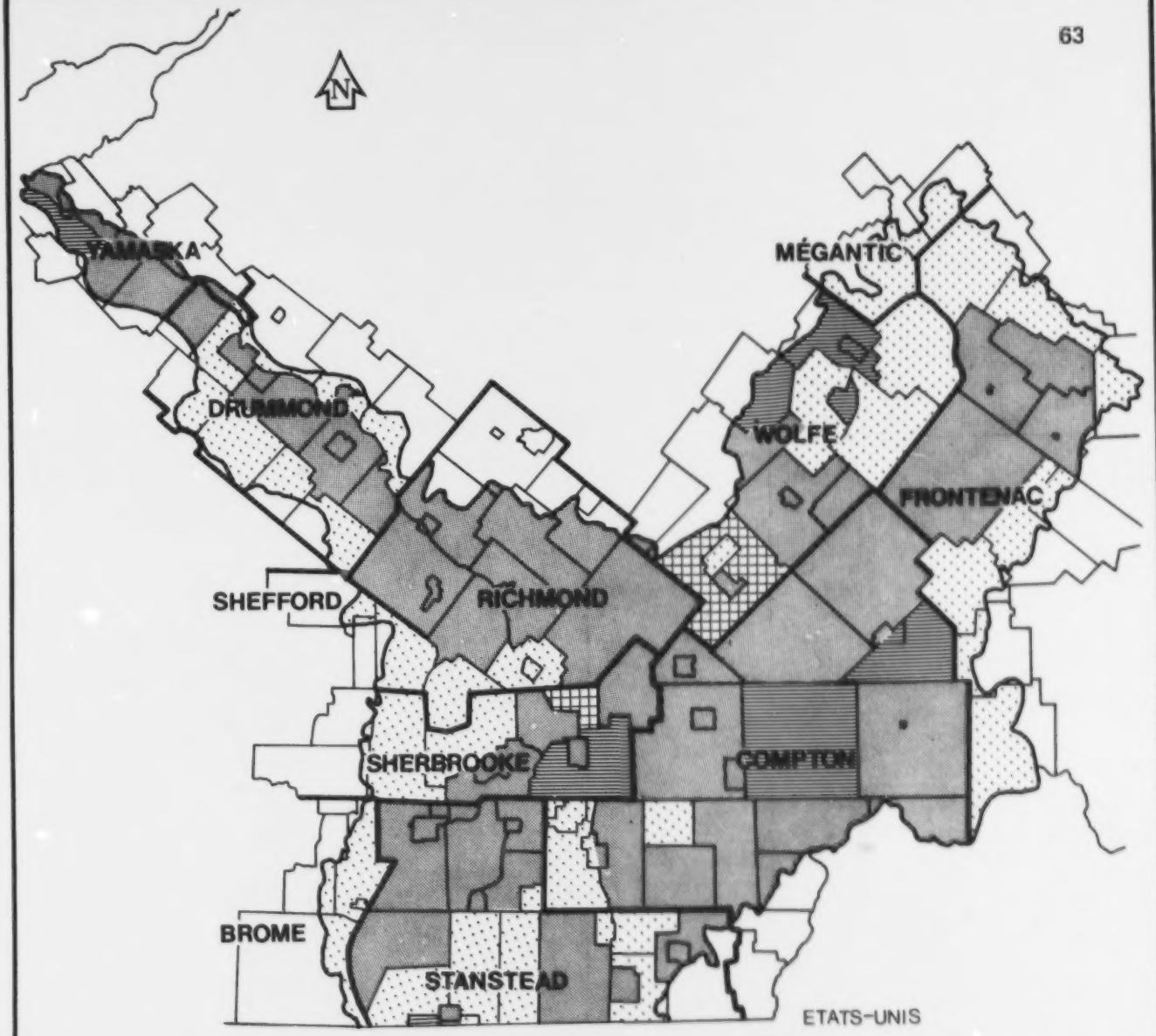


Figure 10

ph DES SOLS (1977-78-79)

Légend

5.0 à 5.5

5.6 à 6.0

6.1 à 6.5

6.6 à 7.0

BASSIN VERSANT
DE LA
ST-FRANÇOIS

0 4 8 12 milles

Tableau 25: Teneur en phosphore assimilable, en potassium échangeable et pH des sols agricoles du bassin St-François.

Région	Nombre de données (1)	pH moyen	Phosphore ass.		Potassium éch.	
			P (kg/ha)	P_2O_5 (kg/ha)	K (kg/ha)	K_2O (kg/ha)
1- LSF	1,119	5.93	121	277	151	181
2- MEA	2,835	5.97	140	320	161	193
3- SHE	280	5.81	188	431	190	228
4- MAG	233	5.97	156	362	165	202
5- WBR	701	5.96	132	303	164	197
6- ARI	399	5.78	133	304	115	138
7- DRU	461	5.75	224	513	137	164
8- LSP	1,071	5.70	210	481	200	240

9- Prélèvements par les cultures et application d'éléments nutritifs dans le bassin St-François

Cette partie du projet nécessite des données sur les surfaces en culture ainsi que leur rendement de façon à pouvoir déterminer les quantités d'éléments nutritifs prélevés par les différentes récoltes. Le bureau régional du M.A.P.A.Q. de Rock Forest nous a fourni ces données pour la région allant du Lac St-François à Richmond pour 1977, année de la plus récente compilation disponible. Pour le reste du bassin, l'Annexe à l'Agro-Alimentaire du Québec, région agricole No: 4-1977 a servi de document statistique pour les données manquantes.

Le tableau 26 donne tous les renseignements concernant les prélèvements effectués par une tonne métrique de culture. A partir de ces données, on peut compléter le tableau 27 nous détaillant les cultures les plus importantes avec les prélèvements en N, P_2O_5 et K_2O effectués par chacune d'elles. Le pâturage et le foin mélangé constituent les deux plus grands consommateurs d'éléments nutritifs étant donné la grande superficie utilisée pour ces cultures.

Le tableau 28 regroupe les résultats pour chaque région. Les prélèvements totaux pour le bassin sont 9,390 t.m. d'azote, 2,590 t.m. de P_2O_5 et 7,767 t.m. de K_2O. Les quantités d'azote prélevées se rapprochent de celles de potassium mais sont 3.6 fois plus élevées que celles de phosphore.

Le tableau 29 compare les prélèvements aux quantités d'engrais chimiques vendues dans le bassin. Ces dernières proviennent des Engrais Chimiques du Québec pour l'année 1979. On remarque la différence entre l'azote appliqué et prélevé. Les cultures tirent trois fois plus d'azote que ce qui a été appliqué. Quant au P_2O_5, le contraire se produit; on applique 2.5 fois plus de phosphore que ce que les récoltes captent. Pour le potassium, les apports sont légèrement inférieurs aux retraits par les cultures.

En somme, seul le phosphore devient susceptible de causer des problèmes. Cependant, il faut se rappeler que la plante utilise en moyenne 20% du phosphore appliqué aux sols lors de l'année d'épandage. On doit donc apporter des quantités de P_2O_5 supérieures aux besoins des végétaux à cause du faible coefficient d'utilisation des engrais phosphatés.

En comparant les quantités d'azote transportées par la St-François (tableau 29), on constate qu'elles sont 1.6 fois supérieures à celles vendues sous forme d'engrais chimiques. Par ailleurs, les cultures ont prélevé 2.8 fois plus d'azote qu'on en avait appliqué par le biais des fumures minérales. C'est là une indication qu'une grande partie de l'azote transportée par la St-François provient de d'autres sources que les engrais chimiques.

Pour le phosphore, les quantités de P_2O_5 transportées par la rivière au cours de la saison ne représentent que 20% de celle apportées au sol sous forme d'engrais phosphatés alors qu'on en avait appliqué 2.5 fois plus que les quantités utilisées par la plante. Une bonne partie du P_2O_5 a donc été retenue par le sol.

Enfin, pour le potassium, les quantités transportées sont inférieures à celles provenant des engrais. Les cultures en ont d'ailleurs prélevé plus qu'on en avait apporté au sol par l'application d'engrais potassiques.

Bref, ce bilan indique que les éléments nutritifs N, P et K apportés aux sols par les fumures chimiques sont loin de retourner entièrement dans les eaux de la St-François. La plus grande partie des engrais est prélevée par les plantes auxquelles ils sont d'ailleurs destinés; l'autre demeure dans le sol pour l'enrichir et enfin une certaine partie s'écoule dans les eaux du bassin St-François.

Tableau 26: Prélèvements effectués par une tonne métrique de culture.

Culture	Azote (kg)	P_2O_5 (kg)	K_2O (kg)
Avoine (1)	27.2	12.3	27.9
Blé (1)	29.0	12.1	20.2
Grains mélangés (1) (1/3 avoine, 1/3 blé et 1/3 orge)	27.7	11.6	23.2
Maïs grain (1)	27.9	10.6	21.6
Orge (1)	26.8	10.5	21.5
Foin mélangé (2)	11.2	4.8	14.4
Luzerne (80% M.S.) (1)	22.5	5.0	22.5
Maïs fourrager (1) (25% M.S.)	3.3	1.25	2.5
Mil (80% M.S.) (1)	12.0	5.0	19.0
Trèfle (2)	19.2	2.0	16.5
Pâturage (3)	19.0	3.4	12.0

Réf: (1) Les Engrais Chimiques du Québec Inc. 1978. La Fertilisation Rendue Facile. Les Engrais Chimiques du Québec Inc. 4e éd.

(2) Morisson, F.B. Feeds and Feeding. 1956.

(3) Conseil des Productions Animales du Québec. Symposium sur l'Alimentation et la Santé de la Vache Laitière. 1976.

Tableau 27: Prélèvements en N, P_2O_5, K_2O effectués par chacune des cultures dans le bassin St-François.

Culture	Prélèvement (tonne métrique)		
	N	P_2O_5	K_2O
Avoine	264	119	243
Blé	23	10	16
Grains mélangés	76	32	63
Maïs grain	73	28	57
Orge	57	22	46
Foin mélangé	2552	1093	3149
Luzerne	113	25	113
Maïs fourrager	695	263	526
Mil	46	19	73
Trèfle	55	6	47
Pâturage	5437	973	3433
TOTAL	9391	2590	7766

Tableau 28: Prélèvements d'éléments nutritifs effectués pour toutes cultures dans les 8 régions du bassin St-François.

Région	Superficie (Hectares)	Azote N (tonne mét.)	Phosphore P_2O_5 (tonne mét.)	Potassium K_2O (tonne mét.)
1- LSP	19,600	1,455	370	1,194
2- MEA	47,298	3,588	968	2,977
3- SHE	569	46	11	36
4- MAG	4,568	296	76	239
5- WBR	19,646	1,648	447	1,414
6- ARI	12,395	537	225	434
7- DRU	13,407	1,093	266	837
8- LSP	12,440	728	227	635
TOTAL	129,923	9,391	2,590	7,766

Tableau 29: Comparaison des quantités d'éléments nutritifs prélevées par les cultures et les quantités d'éléments nutritifs appliquées sous forme d'engrais chimiques dans le bassin St-François et des quantités transportées par la St-François.

	N (tonnes mét.)	P_2O_5 (tonnes mét.)	K_2O (tonnes mét.)
Prélèvements	9391	2590	7766
Engrais vendus	3323	6645	6645
Quantités transportées	5289	1346	4907

10- Bilan du P_2O_5 et du K_2O pour des cas particuliers

Comme nous l'avons déjà dit, on a recueilli des données concernant les applications d'engrais chimiques et organiques chez quelques cultivateurs de la région 5 (voir figure 11). On a compilé aussi les résultats de leurs analyses de sols prélevés en mai-juin et en octobre, ainsi que le genre de culture exploitée sur ces sols, le rendement et la superficie du champ. Quand le fumier de vaches ou de porcs servait d'engrais, on utilisait les valeurs fertilisantes du tableau 30. Il a fallu se fier aux approximations des cultivateurs quant au volume de fumier épandu.

On a dressé les bilans contenus dans les tableau 31 et 32. Pour le P_2O_5, la balance est positive dans deux cas sur cinq: Le sol a donc libéré une partie du phosphore qu'il contenait sous forme non assimilable. Le cas des pommes de terre attire notre attention à cause des quantités énormes du P_2O_5 trouvées dans le sol au printemps soit 1,346 kg/ha. Mais ce qui importe, ce sont les quantités présentes à l'automne. On en retrouve 1,364 kg/ha, ce qui segnifie que le sol a retenu la majeure partie du phosphore. Bien sûr, la balance négative des cas des pommes de terre et du blé indique une fixation ou un lessivage de phosphore. Une bonne partie de ce phosphore s'est transformé en une forme non assimilable qui se fixe aux particules de sol. Il deviendra disponible pour les récoltes subséquentes. Une petite fraction sera lessivée et atteindra nos cours d'eau.

Concernant le K_2O, trois balances sur cinq sont positives, ce qui fait que le sol a libéré une certaine quantité de potassium. Seul le cas du blé avec une balance de -93 kg/ha constitue un léger danger pour les cours d'eau car ce sur-

plus peut se retrouver dans les eaux de lessivage.

En fait, ces bilans reflètant des situations réelles d'application d'engrais par des cultivateurs reconnus efficaces prouvent que l'agriculture ne peut amener des quantités astronomiques d'éléments nutritifs dans nos rivières et dans nos lacs.

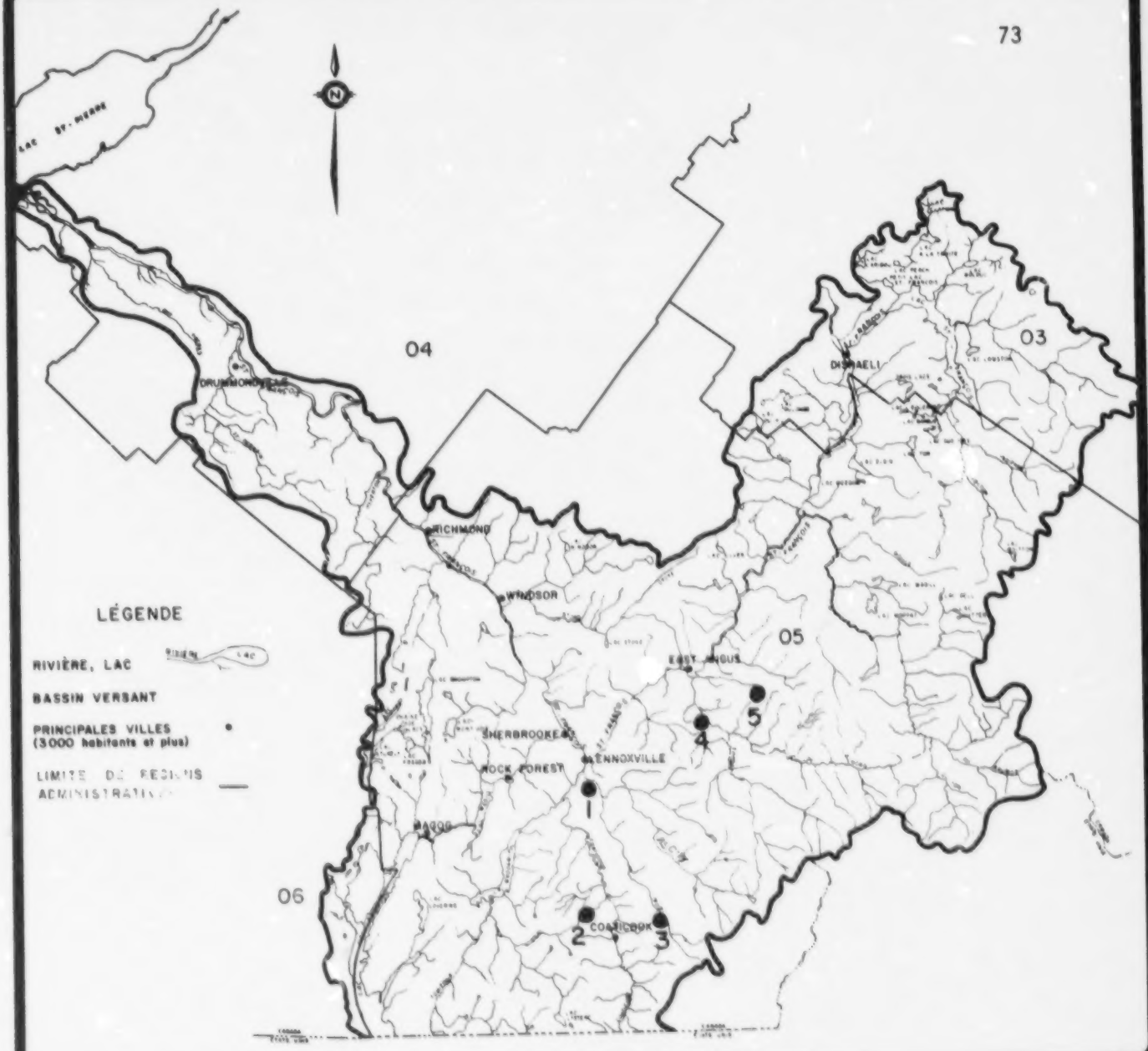


Figure II

LOCALISATION DES PRODUCTEURS AGRICOLES AYANT CONTRIBUE A L'ETUDE

1 Lennoxville

2 Compton

3 St. Edwidge

4 Cookshire

5 Bury

BASSIN VERSANT

DE LA

ST - FRANÇOIS

Tableau 30: Valeur fertilisante en N, P_2O_5 et K_2O du fumier à l'état frais de bovins et de porcs.

Espèce	N (kg/t.m.)	P_2O_5 (kg/t.m.)	K_2O (kg/t.m.)
Bovin	5.50	1.95	3.48
Porc	6.50	3.44	5.52

Réf: Martel, Y., Fortier, M., Choinière, J. Fumier de Ferme. Valeur fertilisante et utilisation. Conseil des Productions végétales du Québec. Déc. 1978.

Tableau 31: Bilan du P_2O_5 pour des cas particuliers

Culture	Superficie (hectare)	Rendement (t.m./ha)	PHOSPHORE P_2O_5 (kg/ha)						
			Sol avant culture	Application	Sol + Appl.	Prélèvement	Sol après culture	Prél. + Sol	Balance
Avoine	3.84	2.8	82	56	138	39	133	172	+34
Maïs	8.09	44.8	505	67	572	31	549	580	+8
Pomme de terre	25.00	2.2	1346	110	1456	5	1364	1369	-87
Blé	3.00	2.2	356	136	492	35	413	448	-44
Maïs	4.05	44.8	360	122	482	46	420	466	-16

N.B. Ces données ont été obtenues à partir des analyses de sol provenant de fermes situées dans la région 5 et des quantités d'engrais appliquées par les cultivateurs au printemps 1979.

Dans la colonne "Balance", le signe + signifie que le sol a libéré une partie du phosphore qu'il contenait sous forme non assimilable.

Le signe - indique un bilan négatif. Les quantités du P_2O_5 manquantes se sont soit fixées dans le sol soit perdues dans les eaux de drainage.

Tableau 32: Bilan du K_2O pour des cas particuliers

Culture	Superficie (hectare)	Rendement (t.m./ha)	POTASSIUM K_2O (kg/ha)						
			Sol avant culture	Application	Sol + Appl.	Prélèvement	Sol après culture	Prél. + Sol	Balance
Avoine	3.84	2.8	310	56	366	136	388	524	+158
Maïs	8.09	44.8	465	67	532	97	540	637	+105
Pommes de terre	25.00	2.2	213	145	358	25	346	371	+13
Blé	3.00	2.2	664	169	833	257	483	740	-93
Maïs	4.05	44.8	196	126	322	156	161	317	-5

N.B. Ces données ont été obtenues à partir des analyses de sol provenant de fermes situées dans la région 5 et des quantités d'engrais appliquées par les cultivateurs au printemps 1979.

Dans la colonne "Balance", le signe + signifie que le sol a libéré une partie du potassium qui était sous forme non échangeable.

Le signe - indique un bilan négatif. Les quantités de K_2O manquantes se sont soit fixées dans le sol soit perdues dans les eaux de drainage.

DISCUSSION ET CONCLUSION

DISCUSSION ET CONCLUSION

Les résultats obtenus démontrent une augmentation significative des concentrations en éléments nutritifs dans les eaux de la St-François pour les secteurs urbains de Sherbrooke et de Drummondville. La région du Lac St-Pierre, plus précisément entre St-Joachim et St-Elphège, contient des quantités de phosphore et de potassium plus élevées que celles observées à Drummondville. Le type de sol peut expliquer une telle situation. La figure 12 illustre la localisation des formations sablo-graveleuses importantes dans le bassin qui nous occupe. Nous avons vu que le type de sol constitue un facteur étroitement lié au phénomène de l'érosion. Le sable, facilement entraîné par l'eau ou le vent, devient un transporteur d'éléments constituant le sol dont le phosphore et le potassium. D'ailleurs, la figure 13 localise les zones d'érosion du bassin St-François. Dans la région agricole du Lac St-Pierre (figure 14), les rives de la St-François constituent la majeure partie des terres propices à l'érosion. Sherbrooke possède aussi une surface d'érosion pouvant expliquer en partie les teneurs élevées en éléments nutritifs.

Par contre, la rivière St-François s'écoulant en amont de Sherbrooke contient les plus basses concentrations en N, P et K. Cette région à caractère agricole, récréatif et forestier surtout (figure 14) ne semble pas détériorer ses eaux par les applications d'engrais vu la teneur faible en P.

La région MEA comprise entre les rivières Massawippi et Eaton est indubitalement agricole car elle comprend un bassin laitier important. D'après l'analyse de Duncan, aucune des rivières de ce secteur n'accuse des concentrations anormalement élevées où la plus haute teneur moyenne est de 1.07 mg N total/l, 0.078 mg P total/l, et 2.69 mg K/l pour la rivière Coaticook. On ne peut pas dire que ces concentrations modérées représentent de graves dangerset pourtant

cette zone majoritairement agricole aurait dû présenter une détérioration beaucoup plus marquée.

Ceci peut s'expliquer par la teneur en P_2O_5 et en K_2O des sols. Les concentrations moyennes se situent entre 101 et 200 kg/ha, à ces faibles concentrations il n'y a pas danger de lessivage. De plus, le degré d'acidité (pH: 5.6 à 6.0) des sols fait que le phosphore est fortement retenu, donc peu entraîné dans les cours d'eau. Aussi, la concentration plutôt faible en éléments nutritifs des fonds de rivières prouve que ni l'eau ni le lit des cours d'eau de la région MEA ne développent un potentiel polluant accru vu la vocation agricole de ce territoire. D'ailleurs, on a vu que les cultures prélèvent de grandes quantités de N, P et K dans cette région ce qui prévient le lessivage.

On peut même aller plus loin. En comparant les prélèvements effectués par les récoltes aux quantités d'engrais appliqués, on constate que les apports azotés correspondent au tiers des prélèvements. On peut avancer, qu'en agriculture intensive, un emploi rationnel de l'azote minéral évitera de le retrouver en quantité dans les eaux souterraines ou de surface en raison de l'élevation des rendements des cultures, but premier de l'utilisation des fertilisants. De plus, leur coût relativement élevé constitue pour beaucoup d'agriculteurs un facteur de modération dans l'application des engrais.

Les engrais potassiques appliqués répondent à la demande des cultures.

Il y a le phosphore qui semble poser un problème: l'application d'engrais phosphatés correspond à 2.5 fois la prise de phosphore par les plantes. Il faut se rappeler que les sols acides du bassin en retiennent une bonne partie qui deviendra disponible pour les récoltes futures. En effet, seulement de 10 à 30% du phosphore provenant des engrais chimiques sera capté par les cultures de l'année. Le reste se transforme en composés insolubles. Voilà pourquoi les apports doivent compenser le faible taux d'utilisation. Une fraction du surplus

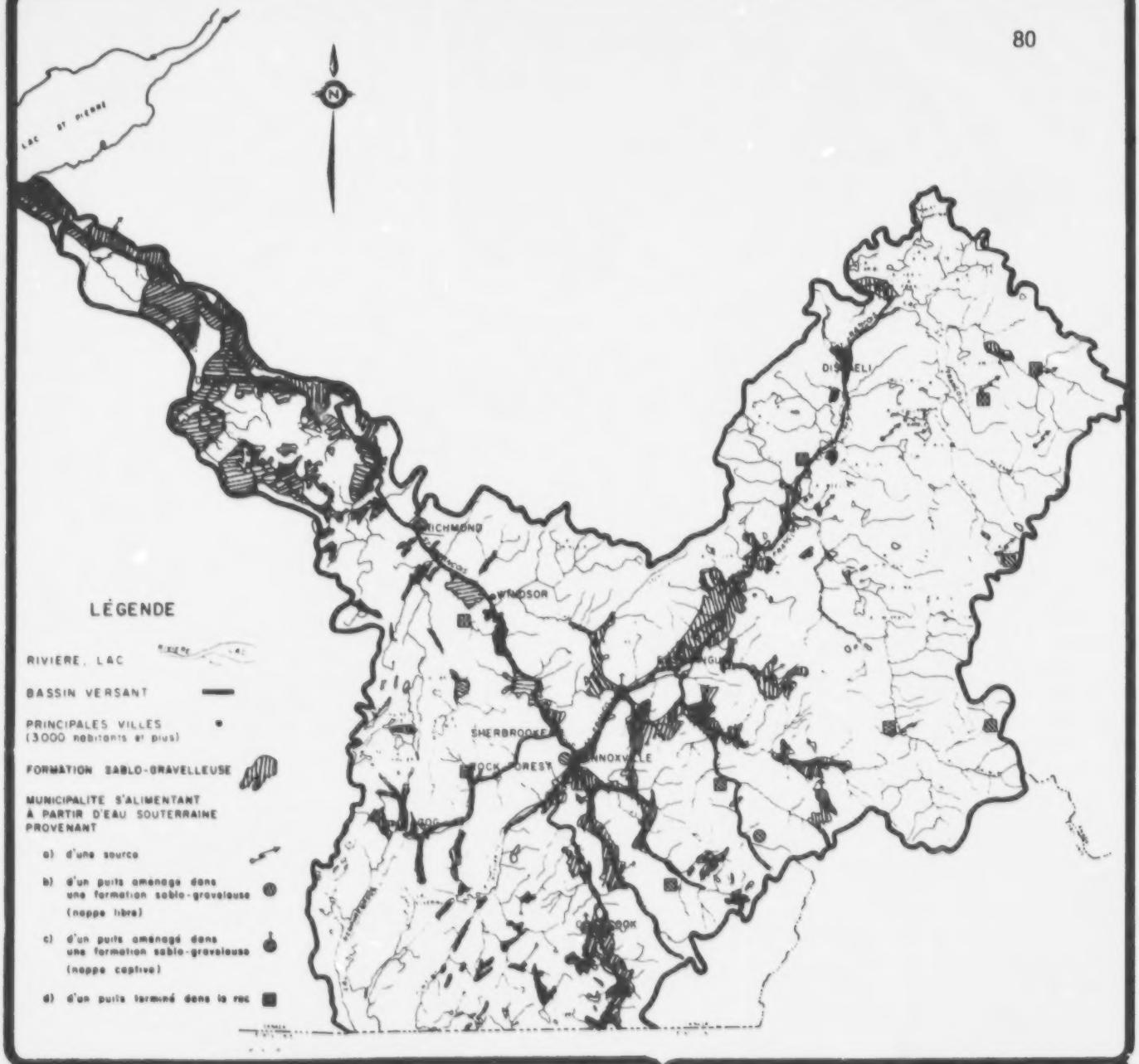


Figure 12

CARTE DE COMPILATION

DES FORMATIONS SABLO-GRAVELEUSES

DE SURFACE

Ref: Barabé et al. Projet St-François 1976

P. 23

BASSIN VERSANT

DE LA

ST-FRANÇOIS

1976

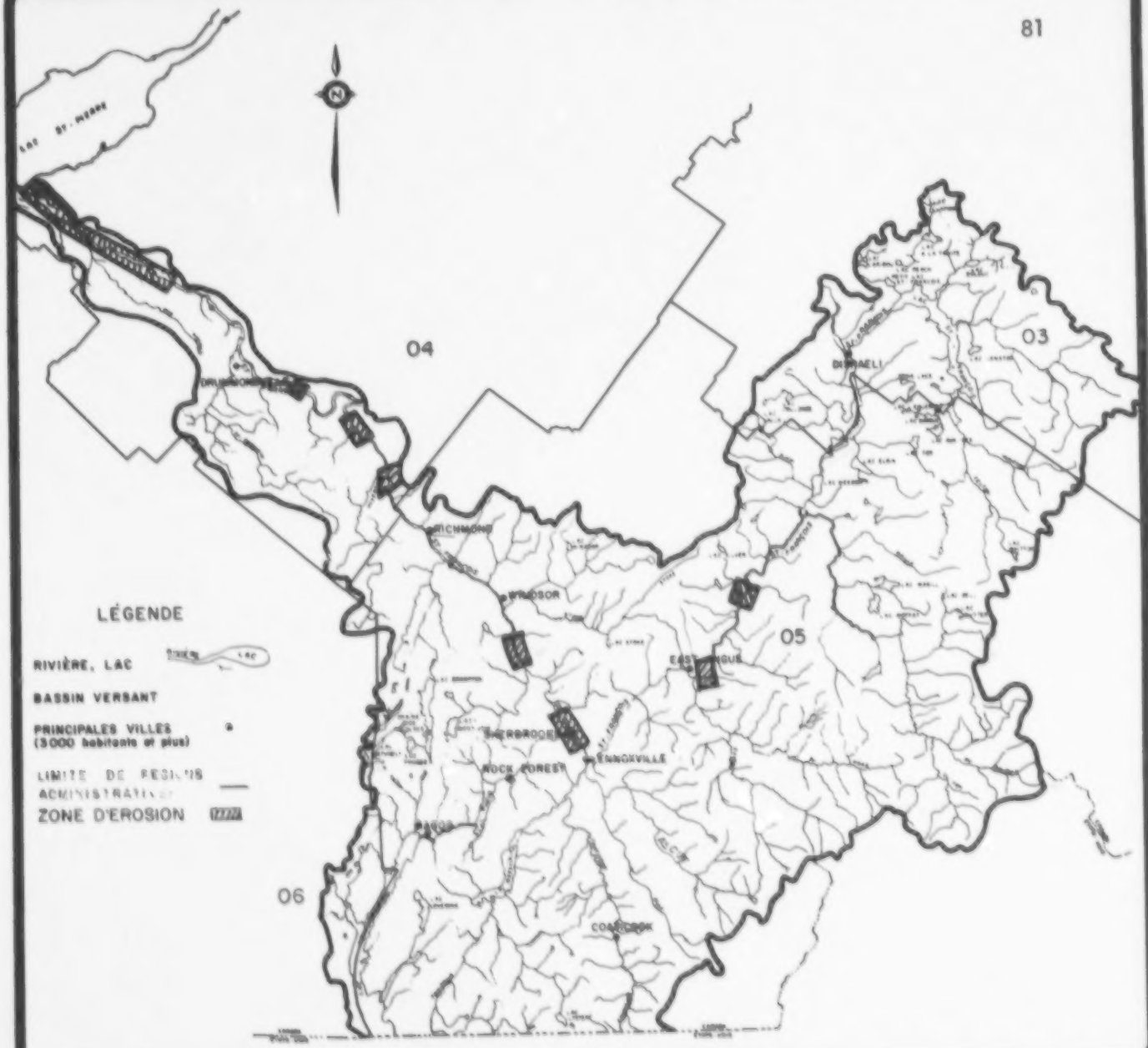


Figure 13

LOCALISATION DES ZONES D'EROSION

Ref: Dupont et al. Plan d'affectation des eau d'un bassin hydrographique 1977

P. 60

BASSIN VERSANT

DE LA

ST - FRANÇOIS

Figure 14

ACTIVITÉS DOMINANTES PAR

SOUS - RÉGION HYDROGRAPHIQUE

Ref: Barabé et al Projet St-François 1976

P - 104

BASSIN VERSANT

DE LA

ST - FRANÇOIS

sera inévitablement lessivé mais cette quantité ne constituera pas tout le surplus. D'ailleurs les quantités de P_2O_5 transportées par les eaux de la St-François ne représentent que 20% du phosphore appliqué au sol sous forme d'engrais chimiques (tableau 29). Il est certain que le P_2O_5 trouvé dans les eaux de la rivière ne provient pas entièrement des engrais comme nous l'avons vu du début de ce rapport. Tout compte fait, on peut déduire qu'environ 90% du P_2O_5 appliqué au sol est prélevé par les plantes ou retenu dans le profil du sol.

Pour appuyer ces affirmations, on a comparé les eaux de différentes provenances. Il en ressort que les égoûts des centres urbains semblent les plus grands responsables de l'apport d'éléments nutritifs. Selon Muir (1973), les concentrations en azote et en phosphore dans les eaux sont gouvernées plus par les densités humaines et animales que par tout autre facteur dont les fertilisants. Le tableau 33 montre la composition d'un effluent urbain analysé par Dowdy et al (1976). Les quantités de phosphore total atteignent 10 mg/l quand la limite tolérée est de 0.10 mg/l afin d'enrayer une surproduction d'algues. Il y a de quoi s'inquiéter de la détérioration produite par ces effluents urbains.

Les fumiers accumulés sur les fermes peuvent comporter un danger pour la qualité des eaux avoisinantes. On reconnaît l'existence du problème auquel on essaie d'apporter des solutions efficaces et adaptées à chaque entreprise agricole (ferme laitière, parc d'engraissement, élevage de porcs et de volailles, etc.) dépendant des disponibilités de chacun.

Les drains agricoles contribuent aussi à l'enrichissement des ruisseaux en éléments nutritifs. Leur effet se fait sentir surtout au printemps relié à l'application d'engrais chimiques et à l'automne, saison d'épandage des fumiers. Dépendant de l'intensité et de la fréquence des pluies printanières ainsi que de la quantité d'engrais utilisée, le pouvoir polluant s'accentuera plus ou moins mais cet apport restera saisonnier.

Tableau 33: Composition d'un effluent urbain

Constituants	Concentration (mg/l)
N total	20
N ammoniacal	10
N nitrique	8
P total	10
K	14

Réf: Tiré de: Webber, M.D., Bole, J.B. L'agriculture contribue à la qualité de l'environnement. Rapport de l'assemblée générale. C.P.V.Q. Mars 1979. P. 27.

En résumé, les engrais chimiques ne sauraient porter l'entière responsabilité de l'eutrophisation des lacs et des rivières du bassin St-François. Même que leur emploi enraye l'érosion en permettant "d'obtenir une pousse printanière plus rapide des plantes ensemensées, une couverture végétale plus dense, un système radiculaire des plantes plus développé, des résidus organiques plus abondants, une meilleure structure des sols; tout cela favorise l'infiltration de l'eau et contribue largement à réduire le ruissellement et l'érosion". (Lespérance, 1970) Selon plusieurs chercheurs, les pertes d'engrais chimiques varieraient de 5 à 7%, ce qui ne peut contribuer à 60% et plus de la pollution des eaux. On peut constater au tableau 34 que les quantités d'azote parvenant à la rivière correspondent à 11% de la production totale d'azote par les élevages et par les fertilisants. Pour le phosphore, les quantités lessivées constituent 5% des apports. Ce sont des valeurs préliminaires qui s'appuient sur des données concernant le bassin St-François.

D'ailleurs, le bilan des éléments nutritifs pour le bassin St-François démontre clairement que les engrais azotés et potassiques épandus en 1979 ne couvrent pas les prélèvements des cultures, c'est-à-dire que le sol a dû fournir une certaine quantité d'azote et de potassium. Pour les engrais phosphatés, l'application faite en 1979 correspond à 2.5 fois les prélèvements. Mais les sols acides retiennent fortement la majeure partie de ce phosphore qui s'est transformé en une forme insoluble. Les bilans particuliers des quelques producteurs visités appuient ces observations. En effet, la balance souvent positive des bilans calculés prouve que les engrais sont retenus par les sols ou utilisés par les plantes qui doivent puiser à même les réserves plutôt moyennes du sol les compléments à leurs besoins. Alors, de quelle manière les fertilisants peuvent-ils atteindre les cours d'eau s'ils sont captés soit par les cultures soit par les sols?

Il est certain que la recherche visant à réduire la solubilité des engrais azotés en prolongeant la durée sous leur forme amociacale et à accélérer l'absorption de l'azote par les plantes (Lespérance, 1970) aidera à maintenir un meilleur

Tableau 34: Bilan de la pollution agricole*

Production totale en kg/jr		
	Azote	Phosphore
Elevage	41,000	8,200
Fertilisants	6,500	4,300
Quantité parvenant à la rivière en kg/jr		
	Azote	Phosphore
Elevage	4,510	410
Fertilisant	715	215

* Valeurs préliminaires.

Réf: Barabé et al. Projet St-François. Etude de la ressource eau et de ses utilisations. Le Bilan. 1976. P. 138.

contrôle des pertes.

Les engrais organiques devront entrer dans les préoccupations des scientifiques agricoles de façon à établir leur niveau d'efficacité une fois appliqués au sol. Les producteurs, avec une information d'appoint, devront tirer les avantages de ces engrais peu coûteux tout en evitant d'altérer l'environnement.

Il est urgent de construire des usines de filtration dans les centres urbains et au niveau des industries pour améliorer la qualité des cours d'eau qui servent trop souvent d'égoûts à ciel ouvert. Une fois ces projets exécutés, nous pourrons vérifier l'amplitude de la pollution agricole, ayant éliminer celle des villes.

REFERENCES

Agriculture Québec. 1977. Annexe à l'Agro-Alimentaire au Québec. Région agricole No: 4.

Barabé, G., Louchard, L., Trudel, R. 1976. Projet St-François. Etude de la ressource eau et ses utilisations. Ministère des Richesses Naturelle. Québec. 199 p.

Campbell, P.G., Couture, P., Lachance, M., Talbot, L. 1976. Qualité des eaux des rivières St-François et Yamaska. Vol: 2. Ministère des Richesses Naturelles. Sept.

Campbell, P.G., Couture, P., Lachance, M., Talbot, L. 1976. Etude intégrée de la qualité des eaux des bassins versants des rivières St-François et Yamaska. Vol: 2. Secteur des substances nutritives. INRS-Eau. Québec 127 p.

Cluis, D., Durocher, H. 1976. Etude intégrée de la qualité des eaux des bassins des rivières St-François et Yamaska. Vol: 3. Secteur du modèle d'apports. Rapport final. Ministère des Richesses Naturelles. Direction générale des Eaux. INRS Eau. 105 p.

Commission des Sols. Protocole d'analyses des sols minéraux pour agriculteurs. Atelier méthodologique et normalisation des méthodes d'analyses de sols. C.P.V.Q.

Commission Mixte Internationale du Fleuve St-Laurent. 1970. La Pollution dans le Lac Erié, le Lac Ontario et le Secteur International du Fleuve St-Laurent. 116 p.

Conseil des Productions Animales du Québec. 1976. Symposium sur l'alimentation de la vache laitière.

Cooke, G.W. 1974. Le potassium et l'environnement. Revue de la Potasse. 7: 1-2.

Dupont, N. 1977. Plan d'affectation des eaux d'un bassin hydrographique. Bassin de la rivière St-François. Ministère des Richesses Naturelles. Québec.

Fried, M., Tanji, K.K., Van de Pol, R.M. 1976. Simplified long term Concept for evaluating leaching of nitrogen from agricultural land. J. Envir. Qual. 5, 2: 197-200.

Golterman, H.L. Methods for Chemicals Analysis of Fresh Waters. Blackwell Scientific Publ. Oxford. 2e éd. 166 p.

Groupe Défi St-François. 1978. Pollution du Bassin Hydrographique de la St-François. Sherbrooke. Mai.

Jung, V.G. 1972. Factors affecting nitrogen leaching from topsoil and their effects on water quality. Landwirtshaftliche forschung. 25, 4: 336-354.

Le Sauteur, T. Tétreault, R. L'Eau. Appréciation d'une eau. Montréal. 37 p.

Les Engrais Chimiques du Québec Inc. 1978. La fertilisation rendue facile. Les Engrais Chimiques du Québec. 4e éd.

Lespérance, R. 1970. L'agriculture moderne et la pollution du milieu. Bulletin d'information No: 22. Ministère de l'Agriculture et de la Colonisation du Québec. 22 p.

Loehr, R.C. 1974. Agricultural Waste Management. Academic Press. New-York.

Martel, Y., Fortier, M., Choinière, J. 1978. Fumier de ferme. Valeur fertilisante et utilisation. Conseil des Productions Végétales du Québec. Agdex déc.

Mckeague, J.A. Manuel de Méthodes d'Echantillonnage et d'Analyses des sols. Agriculture Canada.

Morrison, F.B. 1956. Feeds and Feeding. The Morrison Publishing Co. 22e éd. New-York. 1165 p.

Muir, J., Seim, E.C., Olson, R.A. 1973. A study of factors influencing the nitrogen and phosphorus contents of Nebraska waters. J. Envir. Qual. 2,4: 466-470.

O'Callaghan, J.R., Pollock, K.A. 1976. A land spreading trial with pig slurry. Tehc. Bull. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. U.K. 32: 371-399.

Olness, A., Smith, S.J., Rhoades, E.D., Menzel, R.G. 1975. Nutrient and sediment discharge from agricultural watersheds in Oklahoma. J. Envir. Qual. 4,3: 331-336.

Owens, M. 1970. Nutrient balances in rivers. Water Treat. Exam. 19: 239-247.

Pagé, Y.L. 1971. Etude de la qualité des eaux du lac Memphrémagog. Régie des eaux du Québec. Ministère des Richesses Naturelles. Publ. 39 Québec.

Pretty, K.M., Rutherford, D.M. 1973. Study of Pollution of the Boundary Waters of the Great Lakes System. The Plant Food Council of Ontario Inc. Janvier. 21 p.

Robinson, J.B., Miller, M.H. 1978. Erosion and water quality. Notes on Agriculture. Déc. P. 14-17.

Ruel, M. 1971. La qualité des eaux du bassin de drainage de la Massawippi. Centre de Recherche en Aménagement Régional. Sept.

Singer, M.J., Rust, R.H. 1975. Phosphorus in surface runoff from a deciduous forest. J. Envir. Qual. 4,3: 307-311.

Sowden, F.J., Hore, F.R. 1976. Nitrogen movement near surface manure storages. Can. J. Soil Sci. 56,3: 223-231.

----- 1971. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA. AWWA. WPCF. Washington. 13e éd. 874 p.

Weeber, M.D., Bole, J.B. 1979. L'Agriculture contribue à la qualité de l'environnement. Rapport de l'Assemblée Générale. C.P.V.Q. Mars. p. 27.

Zajic, J.E. 1971. Water Pollution. Disposal and Reuse. New-York. Ed. Marcel Dekker. Vol: 1.